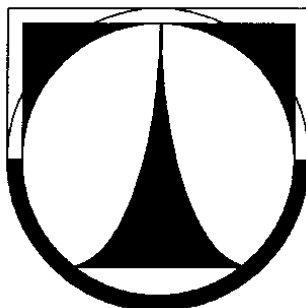


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra částí a mechanismů strojů



**INOVACE ZAŘÍZENÍ PRO SEPARACI TUHÉ A KAPALNÉ
FÁZE Z PRŮMYSLOVÉHO KALU
INNOVATION OF MACHINERY FOR SEPARATION OF
INDUSTRIAL WASTE SLUDGE COMPONENTS**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Jiří Suchánek

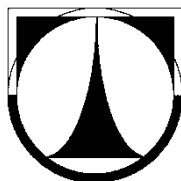
Květen 2014



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra částí a mechanismů strojů



Program: N2301- Strojní inženýrství
Obor : 3909T010 – Inovační inženýrství
Zaměření: Inovace výrobků

INOVACE ZAŘÍZENÍ PRO SEPARACI TUHÉ A KAPALNÉ FÁZE Z PRŮMYSLUVÉHO KALU

INNOVATION OF MACHINERY FOR SEPARATION OF INDUSTRIAL WASTE SLUDGE COMPONENTS

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petrů Michal, Ph.D., TU v Liberci, KST

Konzultant diplomové práce: Suchánek Jiří, Sklo Pelechov

Počet stran: 68

Počet obrázků: 66

Počet tabulek: 17

Počet grafů: 2

Počet příloh: 4

Počet výkresů: 6

Květen 2014



Místo pro vložení originálního zadání DP



INOVACE ZAŘÍZENÍ PRO SEPARACI TUHÉ A KAPALNÉ FÁZE Z PRŮMYSL OVÉHO KALU

Anotace

Diplomová práce se zabývá inovací zařízení pro separaci tuhé a kapalné fáze z odpadního kalu malé firmy. Obsahem práce je rešeršní část, kde jsou shrnuty současné možnosti a principy lisování odpadního kalu. Dále práce obsahuje návrh vlastních řešení zařízení ve formě konceptů a výběr nejvhodnější varianty pomocí rozhodovacích tabulek. Vybraný vítězný koncept je detailně rozpracován do 3D modelu. Pomocí metod FMEA, DFX, analytických a numerických výpočtů je navrhnutý model optimalizován a následně rozpracován až po výkresovou dokumentaci zařízení. Výsledkem práce je vlastní konstrukce inovovaného lisovacího zařízení. V závěru práce jsou uvedeny výpočty parametrů zařízení a posouzen přínos vlastního inovovaného návrhu.

Klíčová slova: kal, kalolis, lisování kalu, filtrace, tlaková filtrace, separace tuhé a kapalné fáze

INNOVATION OF MACHINERY FOR SEPARATION OF INDUSTRIAL WASTE SLUDGE COMPONENTS

Annotation:

This thesis deals with innovation systems for separation of solid and liquid components of waste sludge from a small company. It includes the research part, which summarizes the current options and the principles of waste sludge pressing machinery. The work proposes several own concepts of solution. The most appropriate concept is elaborated in details in the 3D model. By using FMEA and DFX methods, analytical and numerical calculations the concept is optimized and carried out to the drawing documentation. Then the own innovative filter press is constructed as a result of the thesis. In conclusion the work contains the parameters calculations and assessments of the real benefits of innovative machinery.

Keywords: sludge, filter press, filtration, separation of the solid and liquid components, innovation.

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne

.....

podpis



Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Michalu Petřů, Ph.D za vstřícné jednání, cenné rady a odborný dohled nad mojí prací. Dále děkuji firmě Sklo Pelechov, která mi umožnila pracovat na tomto tématu. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu po celou dobu studia.



Seznam symbolů a jednotek

Značka	Název	Jednotka
k	Bezpečnost	-
t	Čas	s
DFX	Design for ...	-
DFA	Design for Assembly	-
DFD	Design for Disassembly	-
DFM	Design for Manufacturing	-
σ_D	Dovolené napětí	Mpa
σ_e	Ekvivalentní napětí	Mpa
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis	-
m	Hmotnost	kg
ρ	Hustota	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Re	Mez kluzu	Mpa
Rm	Mez pevnosti	Mpa
V	Objem	m^3
S	Obsah	m^2
σ_o	Ohybové napětí	Mpa
Mo	Ohybový moment	Nm
Wo	Průřezový modul v ohybu	m^3
Qv	Průtok	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
RPZ	Rizikové číslo	-
F	Síla	N
τ_s	Smykové napětí	Mpa
σ_t	Tahové napětí	Mpa
T	Tečná síla	N
p	Tlak	Pa



Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Představení úkolu	3
4	Naplánování projektu	6
4.1	MS Project	6
4.2	Inovační záměr	6
4.3	Inovační prohlášení	6
4.4	Analýza zákaznických potřeb	7
5	Průzkum známých řešení	9
5.1	Průzkum trhu	9
5.1.1	Rámové kalolisy	10
5.2	Komorové kalolisy	11
5.2.1	Membránové kalolisy	12
5.2.2	Síťopásové kalolisy	13
5.2.3	Odstředivky	14
5.3	Průzkum patentů	16
5.3.1	Patent číslo: 5,110,466	16
5.3.2	Patent číslo: 3,512,651	17
5.3.3	Patent číslo: 4,664,813	17
6	Koncepty	18
6.1	Koncept A: Výtah	18
6.2	Koncept B: Filtrační válce	19
6.3	Koncept C: Filtrační kužel	20
6.4	Koncept D: Šnek	21
6.5	Koncept E: Lis	22
6.6	Koncept F: Duální komorový kalolis	24
6.7	Výběr konceptu	25
6.7.1	Rozhodovací tabulky	25
6.8	Hodnocení	29
6.8.1	Koncept A	29
6.8.2	Koncept B	30
6.8.3	Koncept F	31
7	Rozpracování vítězné varianty – duální komorový kalolis	32
7.1	Princip lisování	33
7.2	Rozmístění zařízení	35
7.3	Zavírání zařízení	36
7.4	Doprava suspenze do zařízení	38
7.5	Odvod filtrátu ze zařízení	42
7.6	Odsouvání desek	43
7.7	Vypadnutí koláče	43
7.8	Sestava	44
8	Optimalizace konstrukčního řešení	47
8.1	DFX	47
8.1.1	DFA – Design for Assembly	48
8.1.2	DFM – Design for Manufacturing	52
8.1.3	DFD - Design for Disassembly	53
8.2	FMEA	55
8.3	Výpočtová část	56
8.3.1	Vstupní hodnoty	56



8.3.2	Parametry navrhnutého zařízení	56
8.3.3	Namáhání a pevnostní kontrola	57
9	Zhodnocení vybrané varianty	63
10	Závěr	66
Seznam použité literatury:		67
Seznam příloh		67
Seznam výkresů		67
Přílohy		68

1 Úvod

Vliv člověka na okolí je neoddiskutovatelný, proto se ekologie a potažmo nakládání s odpady stává pomalu každodenním tématem, které je třeba řešit. Kaly se dnes lisují ve všech městských čističkách odpadních vod, dále pak ve větších firmách. Potřeba lisování kalu se dále přesouvá i do menších firem, avšak zařízení na trhu jsou pro malé firmy často zbytečně výkonná a finančně nedostupná.

Mezi standardní stroje se řadí kalolisy nejrůznějších specifikací. Lisováním dochází k oddělování pevné a kapalně fáze, nejčastěji za pomoci filtrační plachetky. Její póry jsou natolik malé, že jimi neprojde disperzní část kapaliny a vytváří se zde filtrační koláč. Naopak póry jsou natolik velké, aby jimi mohla protékat kapalina. Produktem procesu je tuhá fáze a vyčištěná kapalina. Nežádoucí složky obsažené ve vodě se koncentrují ve vyfiltrované sušině, která se nazývá filtrační koláč. Ve zvláštních typech kalolisů lze provést promývání koláčů, které má za cíl odstranit rozpustné látky z tuhé fáze. Vyfiltrovaná kapalina se může následně vrátit zpět do oběhu. Z některých kalů lze vylisovanou pevnou fázi dále využívat, například jako topivo. Význam lisování kalu je tedy jednak ekologický, ale také ekonomický. Při likvidaci takového odpadu se platí za hmotnost. Nevylisovaný odpad má vysoký obsah vody, jež má značný vliv na celkovou hmotnost odpadu. Likvidace vylisovaného odpadu je tedy mnohonásobně levnější. Také transport a manipulace s tuhou fází odpadu je daleko jednodušší.

V úvodu práce bude přiblížena problematika lisování odpadního kalu v malé soukromé firmě. Práci na projektu je vždy třeba pečlivě naplánovat, k tomuto účelu bylo využito programu Microsoft Project, který je pro plánování projektu určený. V další kapitole jsou shrnuty dosud známé principy a zařízení dostupná na trhu. Nejsou opomenuty ani patenty týkající se dané problematiky. Po prozkoumání známých řešení a získání teoretických znalostí bylo navrženo šest vlastních možností řešení problému ve formě konceptů. Následoval výběr nejlepší varianty s využitím dvou rozhodovacích tabulek. Vybraná vítězná varianta byla rozpracována do konkrétního technického řešení až po výkresovou dokumentaci. Byly aplikovány inženýrské metody pro optimalizaci konstrukčního návrhu – DFA, DFM, DFD, FMEA, analytické a numerické výpočty. Na závěr je dané konstrukční řešení zhodnoceno z několika pohledů a posouzeno z hlediska přínosu do praxe.

2 Cíl práce

Cílem práce je inovace zařízení pro separaci tuhé a kapalné fáze, kdy se bude vycházet z konstrukčních řešení dostupných na trhu. Navržené zařízení by mělo mít takové vlastnosti, aby vyhovělo požadavkům leptárny malé soukromé firmy. Výsledné konstrukční řešení by mělo být zejména ekonomicky přijatelné, konstrukčně jednoduché, se snadnou údržbou a obsluhou.

V rámci dosažení stanovených cílů práce, byly využity následující metody inovačního inženýrství:

1. Představení úkolu

2. Naplánování projektu

- MS Project
- Inovační záměr
- Inovační prohlášení
- Analýza zákaznických potřeb

3. Seznámení se známými řešeními lisování kalů

- Průzkum trhu
- Průzkum patentů

4. Návrh pěti řešení

- Generování konceptů
- Systematický výběr nejlepší varianty

5. Rozpracování vítězné varianty

- DFX
- FMEA
- Výkresová dokumentace

6. Zhodnocení vybrané varianty

3 Představení úkolu

Zadavatelem práce je malá soukromá firma **Sklo Pelechov**, která je v současné době jedinou sklářskou firmou v bývalém areálu Železnobrodského skla.

Při výrobě zakázek zaměstnanci firmy pracují s kyselinou. Skla se po máčení v kyselině oplachují vodou, jež je odvedena potrubím do sběrných nádrží (obr. 1 a 2) umístěných vně budovy. V těchto nádržích se oplachová voda obsahující směs kyseliny fluorovodíkové a sírové (poměr 1:3) neutralizuje vápenným mlékem, dokud není dosaženo pH 6,5-7. Dále se do nádrže přidává flokulant, což je polymerní organická látka, která efektivně přispívá k tvorbě vloček kalu. Následně se v nádrži za 1-2 dny usadí kal. Ten je třeba ekologicky zlikvidovat. Aktuálně se čistá voda z nádrží odčerpává do kanalizace. Kal je poté přečerpán do cisterny a odvezen na příslušné sběrné místo. Toto řešení není z dlouhodobého hlediska příliš efektivní, vznikla zde tedy potřeba lisování tohoto odpadního kalu. Ze strany firmy byl vznesen požadavek na návrh jednoduchého dostupného zařízení, které bude možné používat u sběrných nádrží. Stěžejním bodem práce je tedy řešení odvodnění kalu. Známá řešení lisování kalu nejsou pro malou firmu z finančního hlediska příliš dostupná, ve většině případů se totiž jedná o velmi výkonná, složitá a tudíž drahá zařízení. Kaly se upravují s ohledem na životní prostředí a lidské zdraví. Požadavkem je takové využití nebo zpracování kalů, které je přijatelné pro životní prostředí, udržitelné a ekonomicky únosné [13].



Obr. 1 Sběrné nádrže – východní pohled



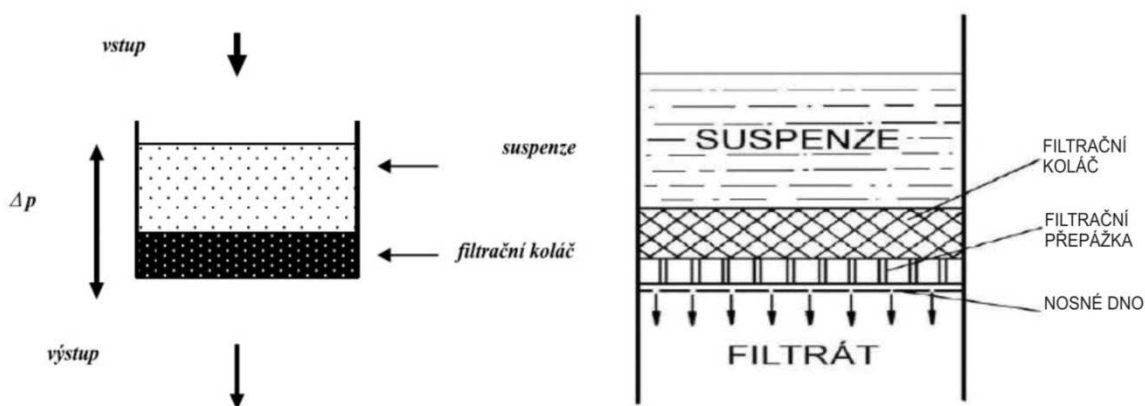
Obr. 2 Sběrné nádrže – západní pohled



Obr. 3 Pohled do jedné ze sběrných nádrží

Ve firmě se vyprodukuje přibližně 1 m^3 kyselé vody **týdně**. K dispozici jsou 3 sběrné nádrže o velikosti $3,96 \times 2 \times 2,6 \text{ m}$ (obr. 3). Pojmem „kal“, nebo „suspenze“ se označují směsi dvou nebo i více látek. Nejméně jedna z těchto látek musí být přítomna v kapalném skupenství a nejméně jedna další látka musí být přítomna v pevném skupenství a je rozptýlena v souvislé kapalně fázi. Nejvíce se separace tuhé fáze z kapaliny využívá v oblastech čištění odpadních vod. Kaly představují

přibližně 1-2% objemu čištěných vod, je v nich však transformováno 50-80% původního znečištění. Zpracování a likvidace těchto kalů se tak stává jedním z nejdůležitějších a nejkritičtějších problémů čištění odpadních vod [13]. Vzhledem k tomu, že kaly jsou řídkou suspenzí pevné složky ve vodě, je jednou z nejdůležitějších technologických operací snižování množství vody. Množství a forma tuhých složek v kapalině ovlivňují konzistenci kalu. Vazba vody k pevné fázi nemá v celém jejím objemu stejný charakter. Vedle tzv. prostorové vody oddělitelné gravitačními silami (sedimentací) existuje voda více či méně pevně vázaná v kalu, kterou lze separovat jen s vynaložením větší energie. Sušina většinou nepřekročí 10 % objemu suspenze, závisí však značně na charakteru kalových částic. Proto dva kaly o stejné sušině mohou mít zcela odlišnou konzistenci [14]. Hlavním úkolem kalolisu tedy je dosažení co možná nejlepší separace sušiny (pevná fáze) a současně čistoty kapalné fáze.



Obr. 4 Obecný princip filtrace (vlevo), obecný princip koláčové filtrace (vpravo) [18]

Obecný princip filtrace je znázorněn na obr. 4. Suspenze (kal) vstupuje do zařízení, kde dochází k utvoření filtračního koláče (pevná fáze), zatímco filtrát (kapalná fáze) odchází ven ze zařízení. Hybnou silou je filtrační rozdíl tlaků, což je rozdíl mezi horním povrchem filtračního koláče a spodním povrchem filtrační přepážky. K vytváření tohoto rozdílu může docházet hydrostatickým tlakem, zvyšováním tlaku nad hladinou suspenze, snižováním tlaku pod filtrační přepážkou, či odstředivou silou.

- Rychlost filtrace = hybná síla / odpor filtru
- Odpor filtru = odpor filtračního koláče + odpor filtrační přepážky [18].

4 Naplánování projektu

Pro každý projekt je třeba formulovat cíle, podle kterých je následně zpětně celý projekt posuzován. Cílem tohoto projektu je splnění zadání diplomové práce a její odevzdání v řádném termínu. Tohoto cíle může být dosaženo jen tehdy, pokud budou splněny všechny dílčí body, které obsahuje zadání práce.

4.1 MS Project

Plánování projektu bylo zhotoveno v programu Microsoft Office Professional 2003. Tato aplikace nabízí pomoc v oblastech plánování projektu, sledování plnění plánu projektu, provádění analýz a přeplánování projektů najednou, vytvoření šablon, tisk a prezentaci projektového plánu [2]. Harmonogram je přiložen v tištěné podobě - **Příloha č.1: Ganttův diagram.**

4.2 Inovační záměr

Inovační záměr by měl správně interpretovat inovační příležitosti a shrnout je do jedné formulace [2].

4.3 Inovační prohlášení

Na počátku projektu je pro ujasnění a přehlednost vhodné shrnout veškeré podstatné informace. Toto shrnutí se nazývá inovační prohlášení (Tab.1) [2].

Vize výrobku (product vision statement)	Zařízení slouží k oddělení pevné a kapalné fáze.
Klíčové obchodní cíle (key business goals)	Dostupné zařízení pro malé firmy. Prodej zkušební série v ČR. Po vybudování pozice na domácím trhu export na zahraniční trhy.
Primární trhy (primary market)	Využití inovovaného zařízení ve firmě Sklo Pelechov.
Sekundární trhy (secondary market)	Firmy zabývající se zpracováním surovin a minerálů, potravinářský průmysl, chemický průmysl, farmaceutický průmysl.
Předpoklady a omezení (assumptions and constraints)	Cenově dostupné zařízení, jednoduchá obsluha, snadná údržba
Účastníci inovačního procesu (stakeholders)	Autor: Bc. Jiří Suchánek Konzultant: Jiří Suchánek sen. Vedoucí práce: Ing. Michal Petruš, Ph.D.

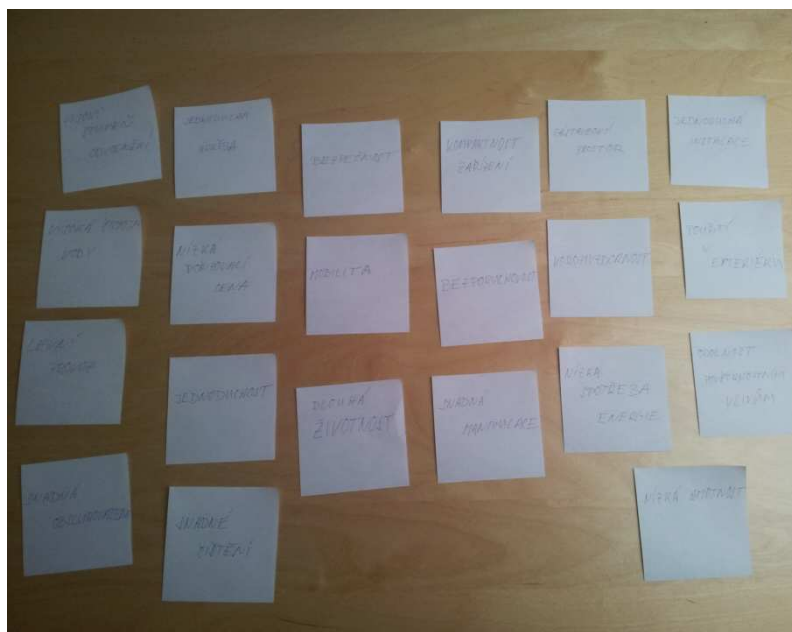
Tab. 1 Inovační prohlášení

4.4 Analýza zákaznických potřeb

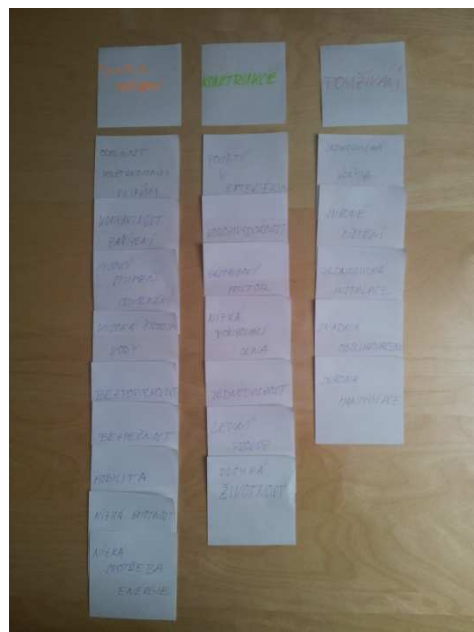
Filosofie identifikace zákaznických potřeb se snaží o úzkou vazbu mezi koncovým zákazníkem a inovačním týmem. Pokud tento informační kanál funguje bez vážnějšího narušení, je to dobrý předpoklad pro správnou interpretaci zákaznických potřeb, která je následně promítnuta do inovace daného výrobku. Cílem celého snažení je tedy taková inovace výrobku, kterou si přeje zákazník, aniž by znal konkrétní technické principy změn. Ty má za úkol inovační tým odvodit z interpretovaných potřeb. Při této metodě je třeba zákazníkovi aktivně naslouchat a jeho požadavky správně interpretovat [2]. Požadavky a potřeby zákazníka byly diskutovány v zadavatelské firmě a následně byly zpracovány do afinního diagramu (Tab. 2). Afinní diagram organizuje údaje do jednotlivých skupin a specifikuje klíčové myšlenky a témata.

Postup při konstrukci afinního diagramu lze shrnout do 4 kroků:

- 1. Shromáždění údajů.** Postup začíná sběrem maximálního možného počtu myšlenek, nápadů, názorů, očekávání i problémů souvisejících s ústředním tématem. Každý údaj je napsán na samostatný papírek (obr. 5).
- 2. Třídění údajů.** Uspořádání kartiček do logických celků.
- 3. Výběr záhlaví.** Záhlaví musí vyjadřovat a odrážet hlavní myšlenku, oblast zájmu, nebo téma, jež odpovídá všem přiřazeným kartičkám (obr. 6) [2].



Obr. 5 Shromáždění údajů



Obr. 6 Třídění údajů a výběr záhlaví

Funkce zařízení	Konstrukce	Používání
Nízká spotřeba energií	Dlouhá životnost	Snadná manipulace
Nízká hmotnost	Levný provoz	Bezpečnost obsluhy
Mobilita	Jednoduchost zařízení	Snadná obsluhovatelnost
Bezporuchovost	Nízká pořizovací cena	Jednoduchá instalace
Vysoká čistota kapalně fáze	Malý zástavbový prostor	Snadné čištění
Vysoký stupeň odvodnění pevné fáze	Korozivzdornost	Jednoduchá údržba
Kompaktnost zařízení	Použití v exteriéru	
Vysoká odolnost povětrnostním vlivům		

Tab. 2 Afinní diagram

Vytvořený afinní diagram (Tab. 2) neposkytuje dostatek informací o relativním významu jednotlivých potřeb, které jsou důležité pro „dělání správných kompromisů“. Jednotlivým potřebám tedy přiřadíme relativní významnost dle požadavků zákazníka [2]. Tabulka byla roztříděna dle významnosti pomocí programu MS Excel a funkce „Seřadit a filtrovat“ (Tab.3).

Hodnoty relativní významnosti:

1. Po této vlastnosti výrobku netoužím, neuvažoval bych o výrobku s podobnou vlastností.
2. Tato vlastnost pro mne není významná, ale nevadilo by mi ji mít.
3. Bylo by pěkné, aby tuto vlastnost výrobek měl, ale není to nutné.
4. Tuto vlastnost výrobku bych velmi ocenil, ale mohl bych uvažovat i o výrobku bez této vlastnosti.
5. Kritická vlastnost – o výrobku bez ní nebudu vůbec uvažovat [1].

Potřeba	Relativní význam
Použití v exteriéru	5
Snadná obsluhovatelnost	4
Vysoká čistota kapalné fáze	4
Vysoký stupeň odvodnění pevné fáze	4
Vysoká odolnost proti korozi	4
Bezporuchovost	4
Kompaktnost zařízení	4
Mobilita zařízení	4
Nízká pořizovací cena	4
Snadné čištění	3
Levný provoz	3
Nízká hmotnost zařízení	3
Vysoká odolnost povětrnostním vlivům	3
Jednoduchá instalace	3
Nízká spotřeba energií	3
Snadná manipulace	3
Dlouhá životnost	3
Jednoduchost zařízení	3
Bezpečnost obsluhy	3
Jednoduchá údržba	3
Malý zástavbový prostor	2

Tab. 3 Relativní význam jednotlivých zákaznických potřeb

5 Průzkum známých řešení

5.1 Průzkum trhu

Dnes používané kalolisy můžeme rozdělit do několika základních skupin:

- **Rámové**
- **Komorové**
- **Membránové**
- **Sít'opásové**
- **Odstředivky**

5.1.1 Rámové kalolisy

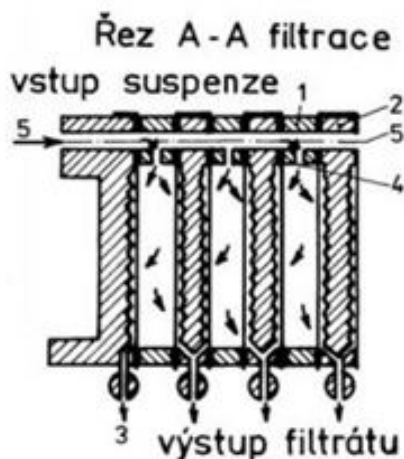
Základem rámového kalolisu jsou dva typy desek: **rámové a filtrační** (obr. 7). Kal (suspenze) je přiveden do rámu. Filtrační komora je uzavřena filtračními deskami s drenáží pro odvod filtrátu (obr. 9). Tloušťka rámové desky určuje tloušťku filtračního koláče - obvykle se pohybuje v rozmezí 10 – 50 mm [4]. Princip rámového kalolisu je patrný ze schématu na obr. 8. Po přisunutí desek jsou vytvořeny filtrační komory, do nichž je kal dopravován pomocí čerpadla. Filtrační desky se skládají z plachetky (filtrační tkaniny), která slouží k filtrování. Materiál plachetek se volí s ohledem na charakter suspenze, ale ve většině případů se jedná o polypropylen. Na plachetkách



Obr. 7 Rámová a filtrační deska [4]

se tvoří filtrační koláč a filtrát je odveden pomocí drenážních kanálků ven z kalolisu. Při postupném zanášení plachetky dochází ke zvýšení hydraulického odporu. Tento odpor je třeba kompenzovat nárůstem tlaku v komoře a snížením průtoku kapaliny. Po dosažení maximálního tlaku je třeba,

aby byl tento tlak udržován konstantní do dokončení filtrace. Pracovní tlak se pohybuje mezi 6-15 bary [18]. Některá zařízení umožňují promývání koláče. K tomu dojde po naplnění filtračního prostoru, kdy se uzavře přívod kalu a do každé druhé filtrační desky je přivedena voda, která promývá filtrační koláč (obr. 8). Následně se desky sundají z nosné konstrukce a očistí se od filtračního koláče. Rámový kalolis je dnes ve většině případů nahrazován komorovým [3].



Obr. 8 Schéma rámového kalolisu [5]

5.2 Komorové kalolisy

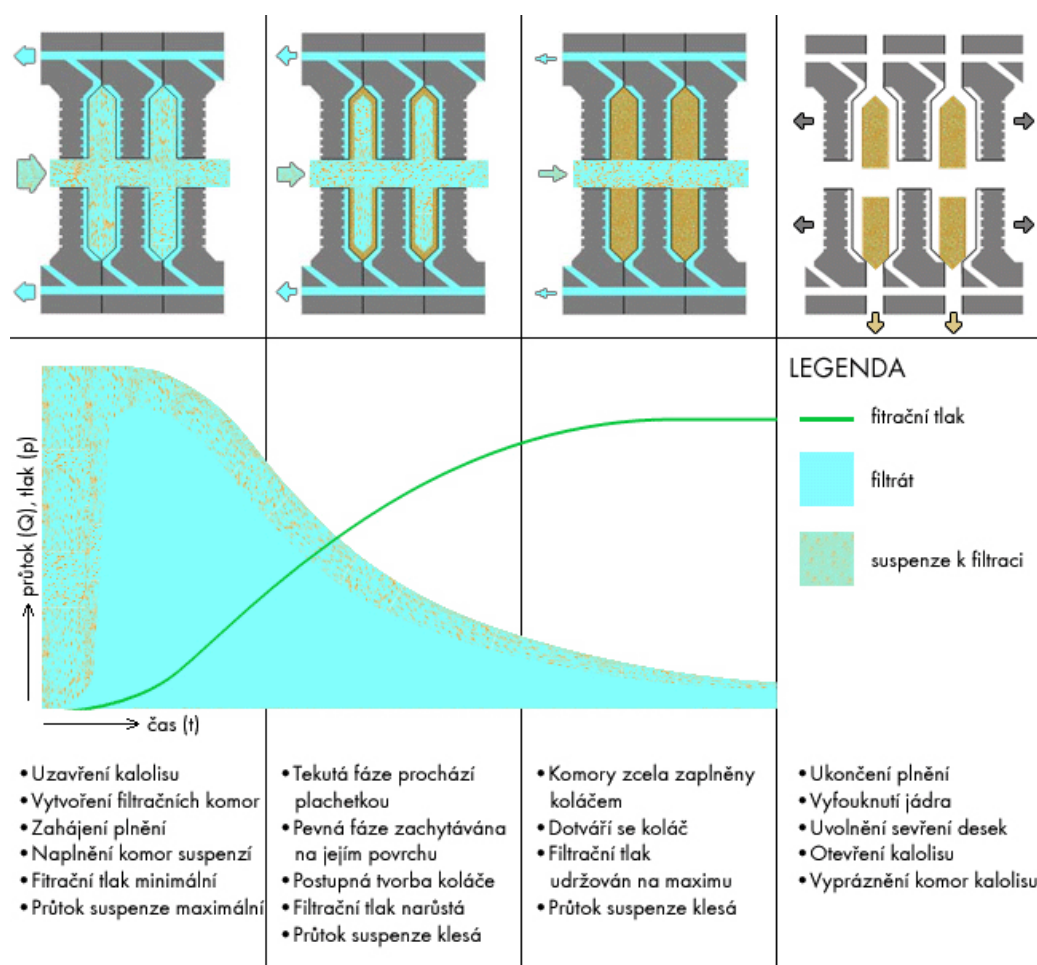
Tato skupina kalolisů je nejčastěji používaná a to zejména díky dlouhé životnosti, vysoké spolehlivosti a jednoduché konstrukci zařízení. Komorový kalolis je vyfocen na obr. 9. Celková hloubka vybrání obou sousedních desek určuje tloušťku výsledného filtračního koláče. Ta se obvykle pohybuje v rozmezí 15 – 50 mm [4]. Filtrace se provádí pomocí plachetek, tak jako ve většině všech typů kalolisů. Přívod suspenze do filtrační komory je řešen středovým nátokem. Pracovní tlak se pohybuje mezi 6 - 15 bary. Materiál desek a plachetek je volen s ohledem na charakter filtrované suspenze, ve většině případů se jedná o polypropylen [18].



Obr. 9 Komorový kalolis (vlevo) [3], Výsledný produkt tuhé konzistence (vpravo) [13]

Celý proces sestává z několika cyklů, které jsou patrné z obr. 10. Nejprve dojde k uzavření kalolisu (nejčastěji automatickým, hydraulickým systémem). Tím dojde k sevření desek, mezi nimiž se vlivem vybrání vytvoří filtrační komory. Ty se začnou plnit suspenzí (obvykle s využitím plnicího čerpadla). Pevné částice jsou zachytávány na plachetce, až je naplněna celá komora. Kapalina je potrubím odvedena z každé desky ven. Vzhledem k narůstajícímu odporu, jenž je způsoben stále větším množstvím pevných částic, je třeba zvyšovat plnicí tlak a snižovat průtok suspenze kalolisé. Tím se vytvoří filtrační koláč. Maximální tlak je udržován po určitou dobu, tak aby došlo k požadovanému odvodnění filtračního koláče. Objem vytékajícího filtrátu je v tento okamžik již minimální. Tlak v komorách je následně snížen na hodnotu před zahájením filtrace, plnicí čerpadlo přestane čerpat kal do komor kalolisu. Průběh průtoku a tlaku je zachycen na obr. 10. Následně dojde k uvolnění filtračních desek hydraulickým systémem a k jejich jednotlivému rozřazení. Filtrační koláč je odstraněn a kalolis je připraven na další filtrační cyklus. Hydraulický systém sestává z vysokotlakého hydraulického válce a hydraulického agregátu, který je zdrojem tlaku pro pohyb pístu hydraulického válce a slouží k

uzavření a otevření zařízení. Systém po celou dobu filtrace vytváří přednastavenou sílu na svazek desek, tak aby byl pracovní prostor pro filtraci maximálně těsný [13].



Obr. 10 Průběh tlaku a průtoku suspenzí v komorovém kalolisu [4]

5.2.1 Membránové kalolisy

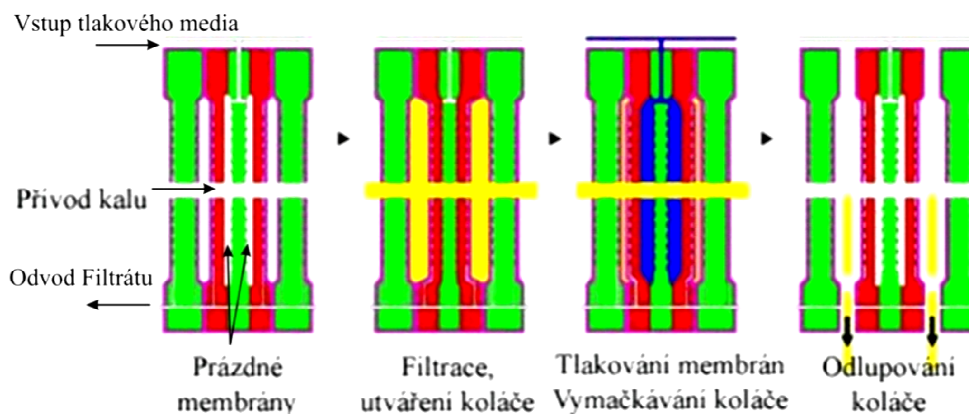
Membránové kalolisy (obr. 11) jsou obdobou komorových kalolisů, mají ale navíc membrány, které jsou součástí filtračních desek. Tyto membrány zajišťují dolisování filtrované vrstvy a tím kvalitnější odvodnění filtračního koláče.

Celý filtrační proces (obr. 12) je stejný jako u komorového kalolisu s tím rozdílem, že po fázi lisování tlakem kapaliny nastává fáze dolisování pomocí zmíněných membrán. Do prostoru za membránou je dopraveno tlakové medium (voda, nebo tlakový vzduch), které vyvolá tlak na koláč a vylisuje se tak další kapalina z filtrovaného koláče. Filtrační desky jsou opatřeny drenáží pro odvod filtrátu. Plnicí tlak se pohybuje okolo 8 barů. Během přitlaku membrán je tlak kolem 15 barů. Tyto kalolisy jsou vybaveny bezpečnostním zařízením, které neumožní otevření kalolisu v době přitlaku membrán. Případné otevření by totiž membránu s největší pravděpodobností trvale poškodilo. Tloušťka filtrační komory činí před zahájením přitlaku obvykle 30 – 50 mm, stlačením membránou se sníží nejčastěji o

20 - 40% [4]. Tento typ lisu je výhodné využít pro obtížně lisovatelné kaly. Díky použití membrán se zvýší podíl sušiny ve filtračním koláči. Navíc se zkrátí doba filtračního cyklu. Tato složitější konstrukce má oproti komorovým kalolisům ještě řadu dalších výhod, jako například: přizpůsobivost různým koncentracím nerozpustných látek v přiváděném kalu, menší rozměry při stejném výkonu, možnost promytí koláče atd. Membránové desky lze střídavě proložit deskami komorovými, čímž vznikne smíšený svazek desek. Membránová deska tedy tlačí na koláč pouze z jedné strany. Tím dojde ke snížení nákladů za současného zachování kvalitního odvodnění. S rostoucími nároky na kvalitu odvodnění jsou tyto lisy využívány stále více [6].



Obr. 11 Membránový kalolis (vlevo), krajní část membránové desky v řezu (vpravo) [4]



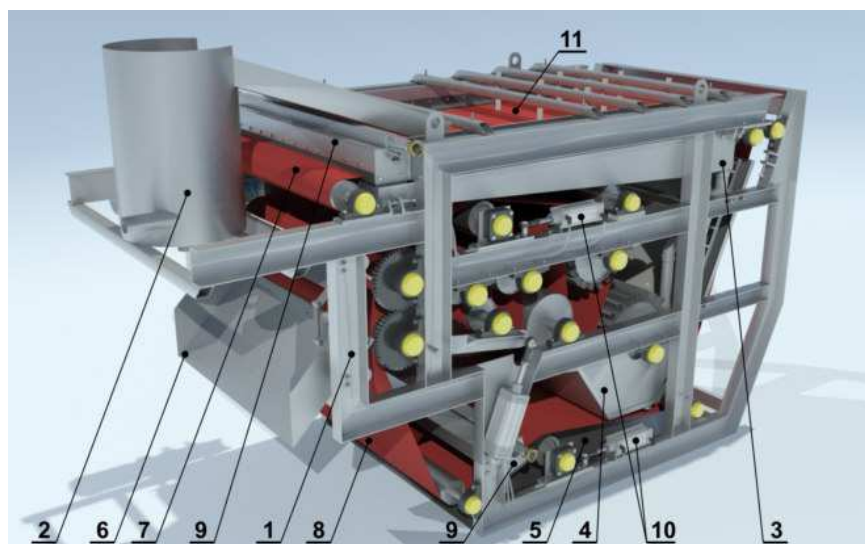
Obr. 12 Pracovní cyklus membránového kalolisu [6]

5.2.2 Síťopásové kalolisy

Síťopásové lisy (obr. 13) představují kontinuální zařízení. Kal se mísí v homogenizační nádrži s flokulantem. Flokulant je syntetická látka, která zefektivňuje proces separace nerozpuštěných látek a tekutiny. Kalolis sestává z filtračního pásu, na který je přiváděna suspenze. Nejprve dochází ke gravitačnímu odvodnění, kde voda z kalu volně vytéká. Kal je díky usměrňovačům neustále hněten, čímž se dostává flokulací vysrážená voda z horních vrstev do spodních, kde

může volně odtékat. V této odvodňovací zóně dochází k oddělení přibližně poloviny objemu vody. Následně kal pokračuje na pásu do části strojního odvodnění, kde dochází k postupnému zvyšování tlaku na kal. Zde je suspenze mezi dvěma pásy intenzivně lisována pomocí soustavy válců. Nejprve prochází suspenze přes odvodňovací válce, za kterými jsou válce vysokotlaké s velkým úhlem opásání. Vylisovaný kal je stírán z pásu nastavitelnou plastovou škrabkou a následně dopadá na dopravník [16]. Řazení válců a jejich počet je navržen tak, aby bylo mechanickým odvodněním dosaženo maximálního obsahu sušiny ve vylisovaném kalovém koláči. Síťové pásy jsou poháněny pogumovanými hnacími válci, synchronně spřaženými s ozubenými koly, jež jsou poháněna motorem [13].

Pásy jsou čištěny vodou pomocí vstřikovacích trysek. Pohon je zajišťován plynule regulovaným elektromotorem, dále je zde převodovka a variátor. Středění



válců může být zajištěno například pneumaticky. Jedná se tedy o poměrně složité zařízení. Na druhou stranu lze regulovat rychlost a přítlak válců dle charakteru lisované suspenze.

Obr. 13 Síťopásový kalolis [16]

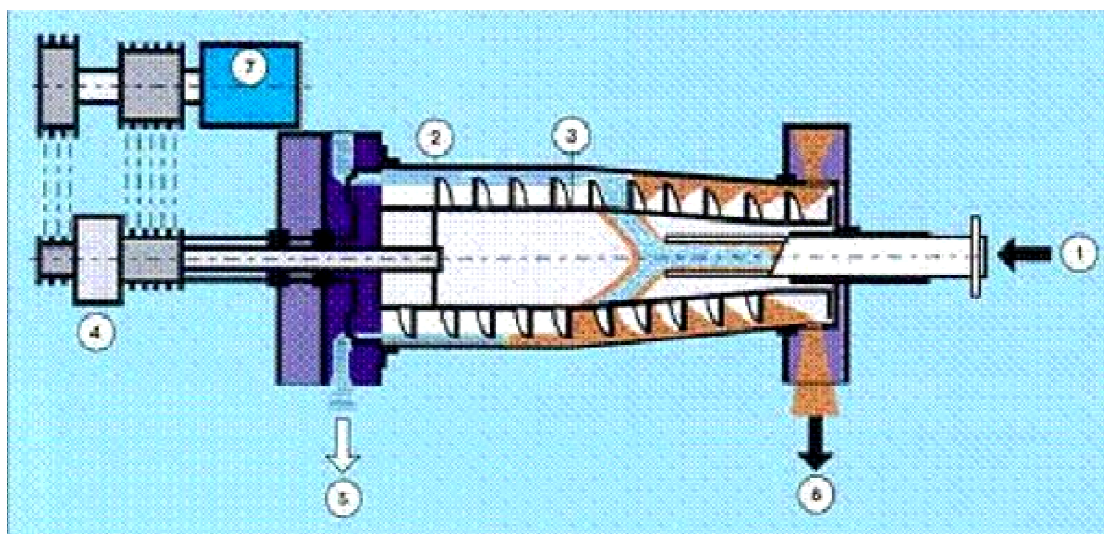
1 - nosný rám, 2 - vtoková homogenizační nádoba, 3 - horní vana, 4 - střední vana, 5 - spodní vana, 6 - výsypka, 7 - horní pás, 8 - spodní pás, 9 - ostřík pásů, 10 - středění pásů, 11 - zóna gravitačního odvodnění

Oproti komorovým lisům zde nejsou tak velké nároky na zástavbový prostor a na obsluhu, která na celý proces prakticky jenom dohlíží. Tato zařízení se dodávají s různou tloušťkou pásů a o různém počtu lisovacích válců, čímž jsou aplikovatelné na většinu odpadních i průmyslových kalů [6].

5.2.3 Odstředivky

Odstředivky (obr. 15) zastupují zařízení s kontinuálním provozem. Hlavními částmi jsou dva konické souosé válcové bubny, které mají souhlasný smysl otáčení, ale různé otáčky. Na vnitřním bubnu odstředivky je navařen šnek. Vnější buben má

plný plášť. Bubny jsou uloženy ve valivých ložiscích v ložiskových stojanech ustavených na základovém rámu. Schéma zařízení je na obr. 14.



Obr. 14 Schéma odstředivky [13]

1. *přívod suspenze*, 2. *vnější buben*, 3. *dopravní šnek*, 4. *převodovka*, 5. *výstup kapaliny*, 6. *výstup sedimentu*, 7. *motor*

Kal je přiveden potrubím do vnitřního bubnu zpravidla v axiálním směru. Během odstředivé dekantace se fáze o vyšší hustotě usazuje, tedy pohybuje radiálně směrem k plášti bubnu vnějšího. Vlivem rotace a tedy odstředivé síly, dochází k urychlení sedimentačního procesu. Těžší pevné částice jsou usazovány na vnitřní

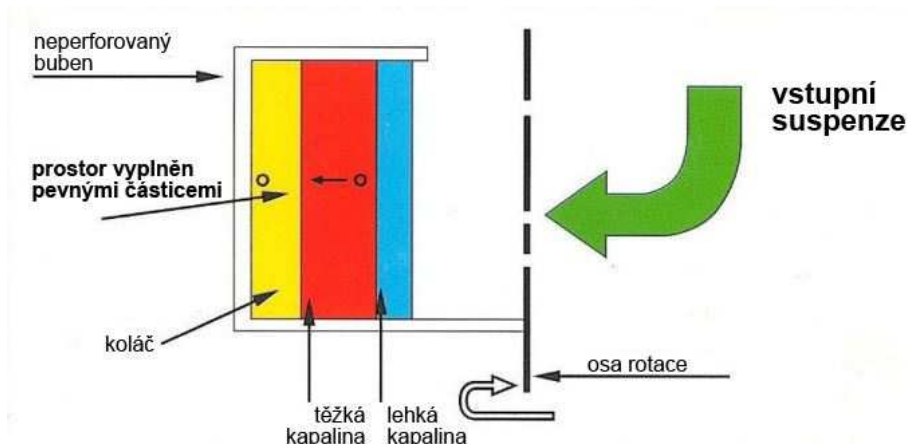


Obr. 15 Dekantační odstředivka Jumbo2 [6]

stěně vnějšího bubnu. Princip odstředivé dekantace je patrný z obr. 16 [17]. Zhuštěný sediment je šnekem kontinuálně posouván do kuželové části a následně dopraven ven z odstředivky, kde vypadává hrdlem výsypky pod zařízení. Přiváděná suspenze vytlačuje odstředěnou kapalinu, která přepadává přes odpadní otvor v čele bubnu do sběrače,

odkud je odvedena potrubím pryč ze zařízení. Speciálním vnitřním uspořádáním lze v odstředivce od sebe oddělit dokonce dvě kapalně fáze (vzájemně nemísitelné) a jednu tuhou fázi [6]. Pohon obou bubnů je uskutečňován elektromotorem přes speciální převodovku, která zajišťuje diferenci otáček obou bubnů, nebo trojfázovými motory pro buben i šnek řízenými frekvenčními měniči. Rotující části odstředivky jsou

za provozu opatřeny kryty. Součástí zařízení je ovládací pult, ve kterém jsou umístěny prvky ovládání a ochrany [13].

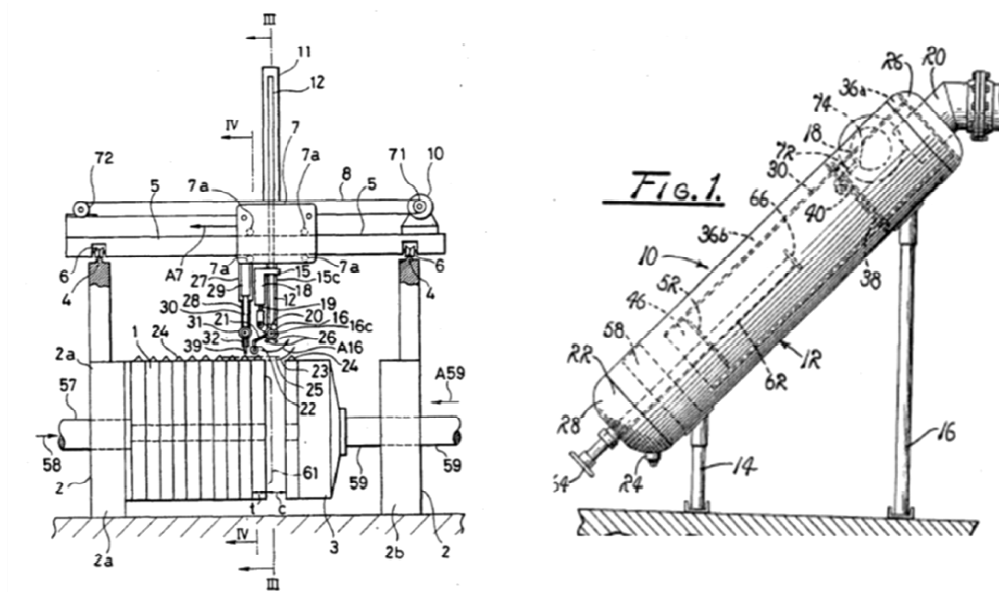


Obr. 16 Schéma odstředivé dekantace [17]

5.3 Průzkum patentů

5.3.1 Patent číslo: 5,110,466 [15].

Po naplnění filtračních komor koláčem je třeba filtrační desky od sebe oddálit, aby mohl koláč vypadnout ven z lisu. Tento patent (obr. 17 vlevo) se zabývá zařízením umožňujícím oddělit filtrační desky automaticky. Součástí zařízení je konzola, na níž se pohybuje „oddělovací jednotka“. Ta obsahuje píst umístěný ve svislé poloze. Pohyb pístu (ovládaný stlačeným vzduchem) způsobí otočný pohyb ramene, jenž následně oddělí desky. Zařízení je navíc vybaveno vodní tryskou určenou k promytí filtrační plachetky. To se však děje pouze z vnějšku plachetky. Je tedy nutno použít velký tlak a i přesto není výsledek plně uspokojující [15].



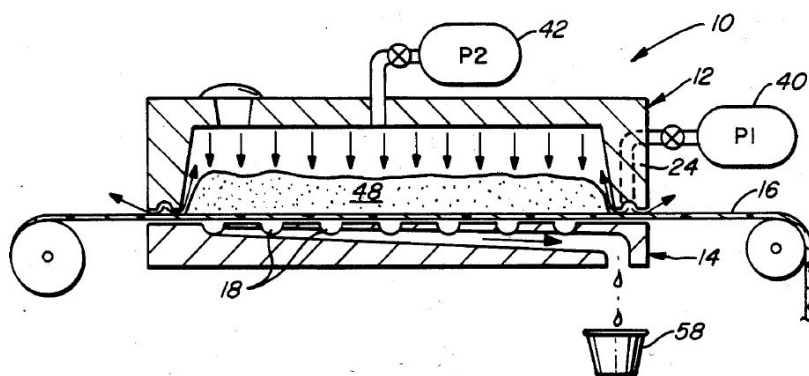
Obr. 17 Zařízení pro oddělování filtračních desek (vlevo), Vírová válcová komora (vpravo) [15]

5.3.2 Patent číslo: 3,512,651 [15].

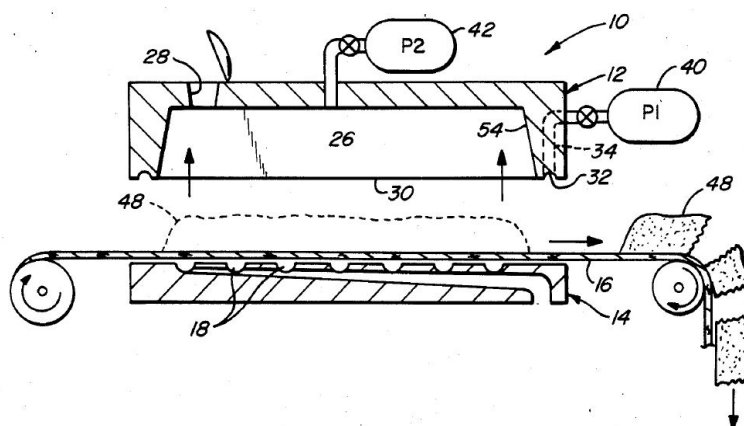
Tento patent (obr. 17 vpravo) se zabývá separací pevných částic z kapaliny pomocí vírové válcové komory. Kapalina je do zařízení přivedena vstupním potrubím (18). Poté se díky tvarování vstupního potrubí dostává do víru. Pomocí odstředivé síly jsou pevné částice přesouvány k obvodu pláště. Odtud putují do sběrné komory na dno válce. Následně se musí v určitých intervalech odčerpat otvorem (24). Reakční deska (66) má za úkol odrazit střední (vyčištěnou) část víru. Čistá kapalina odchází otvorem (20) v horní části zařízení [15].

5.3.3 Patent číslo: 4,664,813 [15].

Zařízení pro vysušení kalů, které využívá tlaku vzduchu pro lisování. Přístroj tvoří spodní člen s filtračním pásem a horní člen, který pohybem ve vertikální ose umožní vytvořit filtrační komoru. Do drážek ve spodní části vrchního členu (víka), je přiveden tlak P1 (40). Vzduch proudí po bocích stěn, čímž zvyšuje tlak v komoře a také ji utěsňuje. Spodní člen (14) je opatřen drážkami (18) pro snadnější odvod kapaliny. Po uzavření komory (obr. 18) je dovnitř přiveden tlak P2 (42), za pomoci kterého se kal odvodní. Následně je horní člen zvednut (obr. 19) a sušina (48) je dopravena pomocí pásu (16) ven ze zařízení [15].



Obr. 18 Fáze lisování [15]



Obr. 19 Fáze vyprázdnění [15]

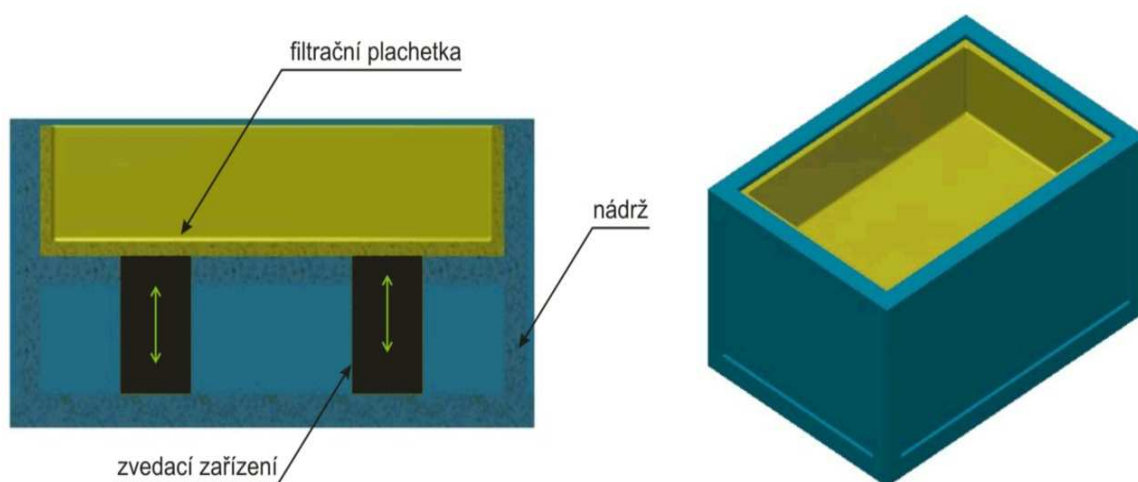
6 Koncepty

Konceptem se rozumí prvotní návrh řešení daného problému. Vzhledem k tomu, že koncepty pouze nastiňují budoucí možnou cestu a neobsahují konkrétní, detailní technická řešení, navrhuje se těchto konceptů zpravidla několik. Následně se hodnotí dle zvolených kritérií a vybere se ten, který vyhoví nejvíce. Koncepty mají formu nákresů, skic, náčrtů atp.

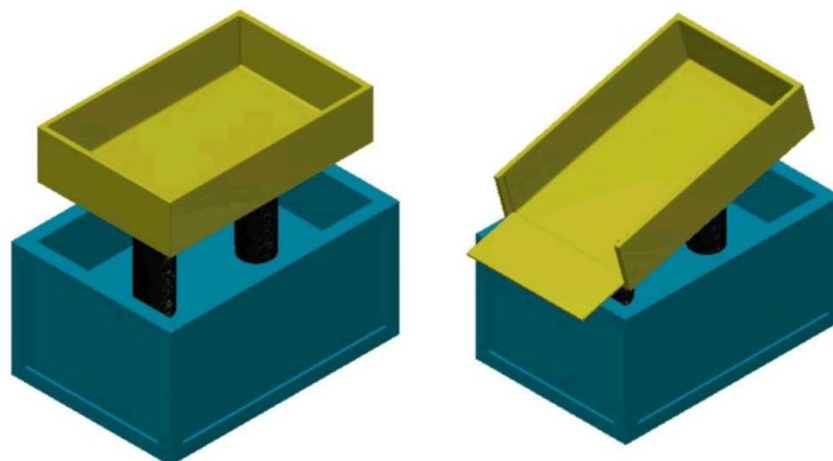
Na základě poznatků získaných z rešeršní části a po ujasnění problematiky byly navrženy následující koncepty.

6.1 Koncept A: Plošina

Prvním a základním konceptem je výsuvná plošina, která by byla při plnění nádrže zasunutá na jejím dně (obr. 20). Nádrž by měla dvojité dno, kde by ve spodním patře byl schován zvedací mechanismus (obr. 20). Po neutralizaci a usazení kalu by se voda po kal odčerpala. Následně by se plošina vyzdvihla nad nádrž (obr. 21). Tělo plošiny by bylo pokryto plachetkou, tak aby mohla přebytečná voda odkapávat zpět do nádrže. Následně by se voda obsažená v kalu nechala odpařit. Po dosažení dostatečné kvality filtračního koláče by došlo k naklonění plošiny a otevření čela, to z důvodu snadnějšího vyprázdnění (obr. 21). Filtrační koláč by pracovník obsluhy shrabal a vyčistil by filtrační plachetku. Plošina by tak byla připravena k dalšímu plnění. V případě, že by se konstrukce zvedacího zařízení jevila jako příliš komplikovaná, by bylo možné použít stacionární plošinu, která by byla plněna kalem pomocí čerpadla. Zvýšení výkonu by se případně dosáhlo, pokud by byla plošina v době sušení umístěna ve skleníku. Zde by se voda vzhledem k vyšší teplotě vzduchu odpařovala rychleji.



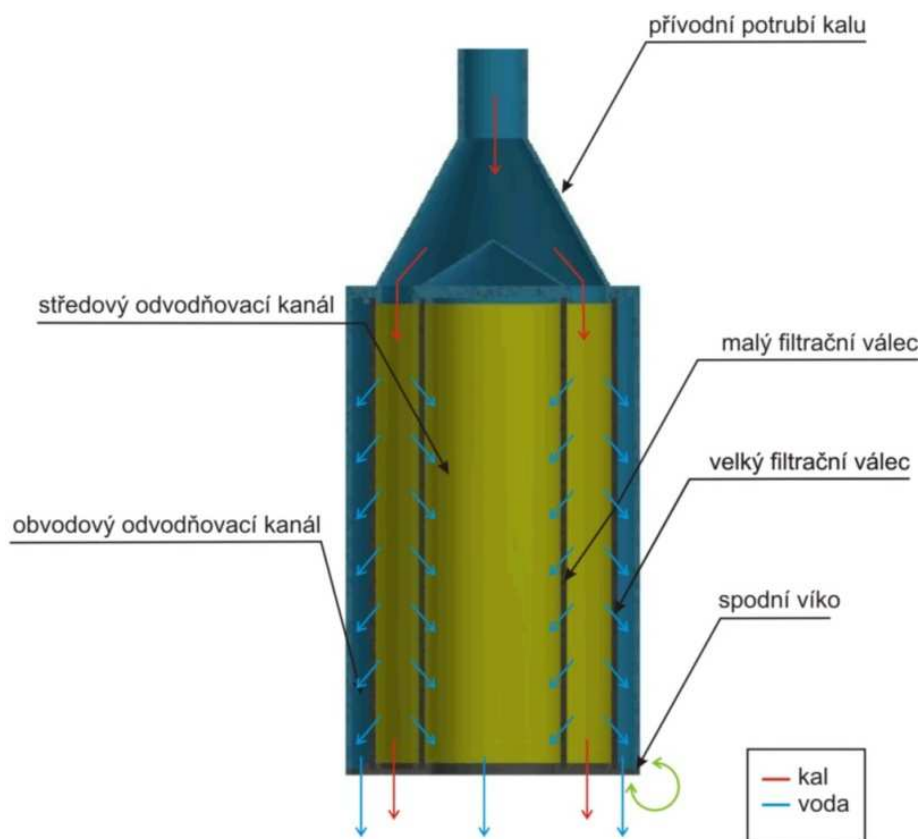
Obr. 20 Řez nádrží (vlevo), pozice filtrační plošiny v době usazování kalu (vpravo)



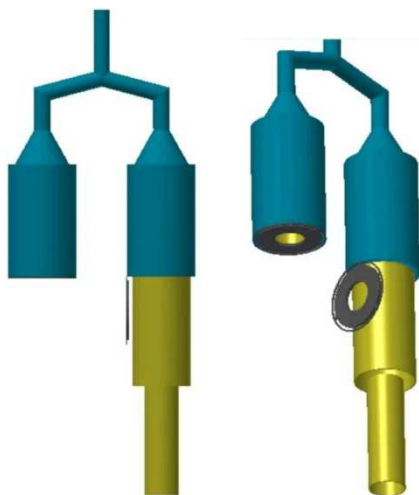
Obr. 21 Pozice filtrační plošiny v době sušení (vlevo), vyprazdňování (vpravo)

6.2 Koncept B: Filtrační válce

Druhý koncept představují dva filtrační válce, jež jsou střídavě plněny čerpadlem o dostatečném výkonu. K lisování tak dochází pomocí vzrůstajícího tlaku kapaliny. V každém válci jsou dvě válcové filtrační vložky, mezi které je přiveden kal (obr. 22). Na filtračních vložkách ulpívají částice pevné fáze, zatímco kapalina odchází vnějším a vnitřním odvodňovacím kanálem ven ze zařízení. Jakmile je filtrační koláč vylišován, je třeba zařízení vyprázdnit. K tomu dojde na spodní straně zařízení, kde se nachází uzavírací mechanismus. Otevření víka umožní vypadnutí filtračního koláče (obr. 23).



Obr. 22 Řez filtračními válci

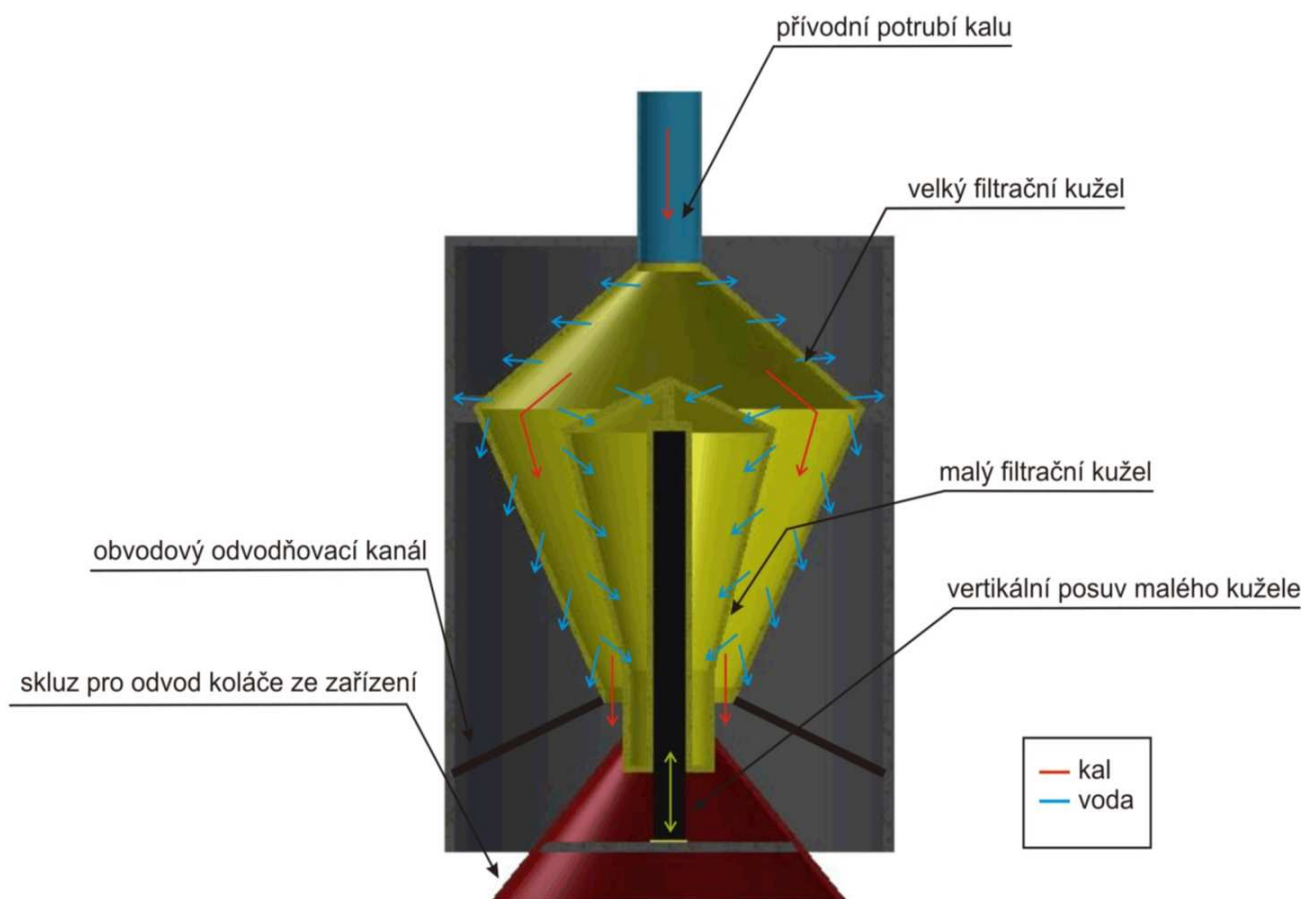


Obr. 23 Filtrační válece

Aby bylo usnadněno vyprázdnění filtračního válce, tak se filtrační vložky mohou vysunout ven. Je tedy umožněno i jejich případné vyčištění, nebo výměna filtrační plachetky. Jako stěžejní bod tohoto konceptu se nabízí uzavírací mechanismus, jež by umožnil také pohyb filtračních válců. Dalším konstrukčním problémem by bylo upnutí filtrační plachetky na filtrační válece.

6.3 Koncept C: Filtrační kužel

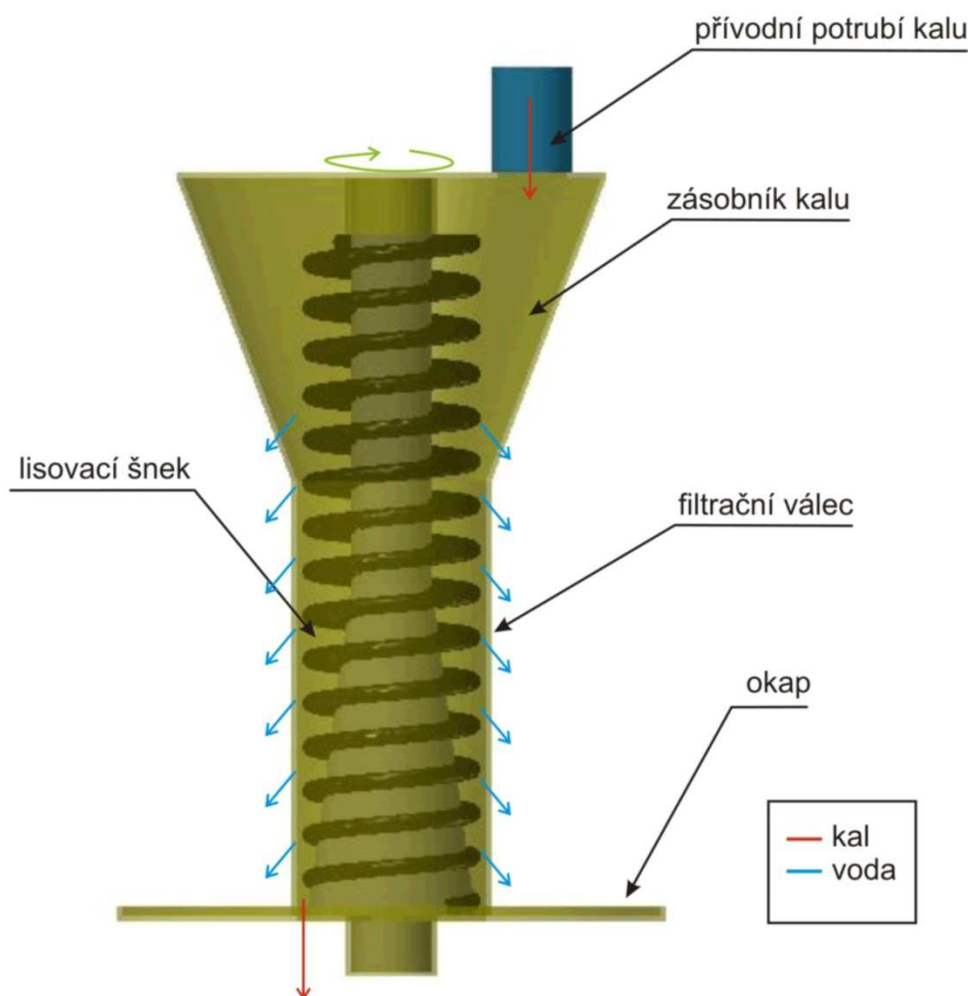
Filtrační kužel by, podobně jako v předchozích případech, plnil funkci filtru pomocí filtrační plachetky. Uvnitř by měl vertikálně a zároveň soustředně uloženou menší filtrační kuželovou vložku. Této vložce by byl umožněn vertikální pohyb, který by bylo možné ovládat (obr. 24). Na začátku procesu by byl vnitřní kužel ve spodní poloze, čímž by se vytvořila uzavřená filtrační komora. Ta by se plnila kalem za pomoci plnicího čerpadla. Postupně by v komoře narůstal tlak a došlo by k lisování. S nárůstem tlaku by se menší kužel zvednul a umožnil by tak výstup vylisovaného koláče. Filtrační koláč by byl vytlačován ven suspenzí vstupující do zařízení v horní části. Dále by sjel po skluzové plošině na sběrné místo. Voda by byla odvedena ven ze zařízení pomocí odvodňovacích kanálků. Toto zařízení se jeví jako velmi konstrukčně složité. Bylo by totiž třeba filtrační komoru rozdělit tak, aby se dala čistit a případně vyměnit filtrační plachetka. Taktéž upnutí filtrační plachetky na kužel by bylo velmi složité. Zůstává také otázkou, s jakou účinností odvodnění kalu by toto zařízení bylo schopno v reálném provozu pracovat a zda by na výstupu nedocházelo k ucpávání. Takovou konstrukci by bylo třeba vyzkoušet například zjednodušeným prototypem.



Obr. 24 Schéma filtračních kuželů v řezu

6.4 Koncept D: Šnek

Šneků je dnes hojně využíváno k přesunu nejrůznějších hmot. V tomto případě by navíc docházelo k lisování odpadního kalu. Kal by byl dopraven do kuželové části zařízení, zásobníku kalu, pomocí čerpadla. Odtud by byl dopravován geometrií šroubovice šneku do spodní filtrační válcové části. Zde by docházelo k lisování, čehož by bylo dosaženo pomocí zmenšujícího se objemu válce filtrační komory směrem k výstupu. Tím by docházelo k dostatečnému odporu proti pohybu filtrovaného kalu a tudíž k vytlačení vody skrze plachetku ven ze zařízení (obr. 25). Voda by odkapávala do okapu, odkud by bylo jednoduché jí svést do jednoho místa. Velkou výhodou tohoto řešení je kontinuální proces. Taktéž vypadnutí vylisovaného koláče je velmi jednoduché. Nevýhodou je složitá geometrie šneku, která se podepisuje na jeho ceně. Filtrační válec by bylo třeba zkonstruovat tak, aby se dala snadno upnout a vyměnit filtrační plachetka. Navíc by konstrukce šneku měla zajistit co možná nejlepší samočištění filtrační plachetky v době lisování. U tohoto konceptu by bylo třeba přidat další energii potřebnou pro rotaci šneku.

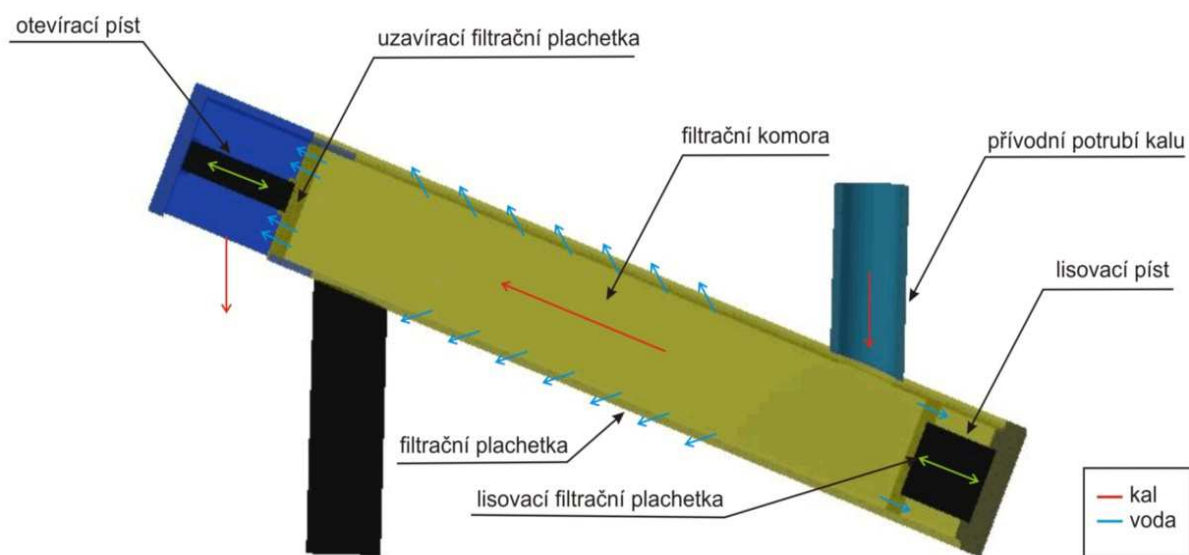


Obr. 25 Lisovací šnek

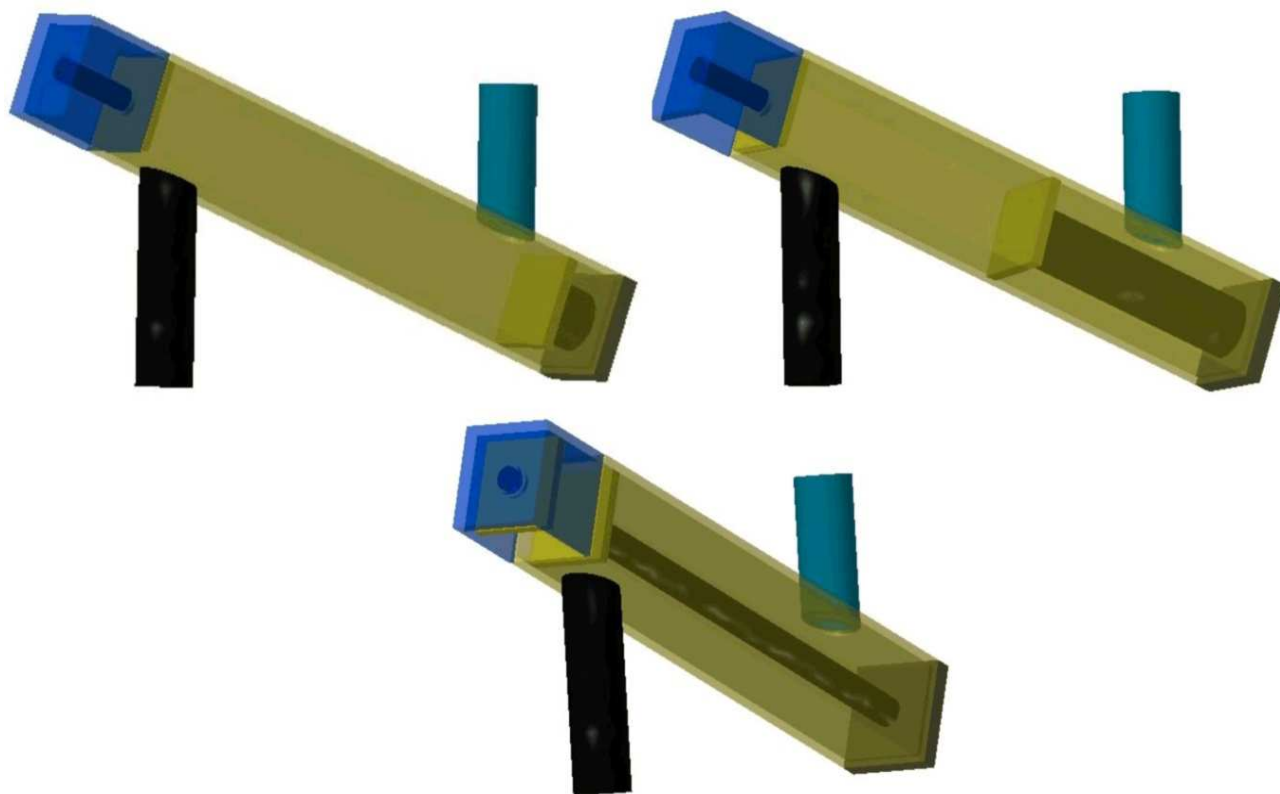
6.5 Koncept E: Lis

Další možností pro lisování kalu by mohlo být využití principu klasického lisu. Tedy zařízení, které působí tlakem na daný lisovaný předmět – tedy kal. Dělo by se tak za pomoci přímočarého vratného pohybu pístnice. Pohon může být zajištěn hydraulicky, elektricky, pneumaticky, nebo mechanicky. V našem případě potřebujeme tlak tak vysoký, aby došlo k co nejlepšímu oddělení pevné fáze od kapalné. Nesmí být ovšem porušena filtrační plachetka. Při tomto způsobu odvodnění by byla plachetka namáhána patrně nejvíce ze všech zmiňovaných způsobů. Bylo by tedy třeba filtrační vložku vyztužit vhodnou konstrukcí. I u tohoto způsobu by bylo čištění filtračních vložek problematické, nikoliv však nemožné. Lis by musel být složen z odnímatelných částí, které by umožnily výměnu a čištění plachetek. Filtrační komoru by tedy bylo třeba řešit vhodnou rozebíratelnou konstrukcí. Tento způsob lisování spadá do kategorie zařízení, jež nepracují v kontinuálním cyklu. To je podobně jako v případě jiných variant jeho nevýhodou, jelikož je třeba celý proces vhodně synchronizovat.

Uzavírací filtrační vložce na konci komory by byl umožněn pohyb ve směru pohybu lisování. Toho by bylo dosaženo otevíracím pístem, který by se po procesu lisování otevřel (obr. 26). Víko, ve kterém je otevírací píst uložen, nemá dno. Tím je umožněno vypadnutí vylisovaného koláče ven ze zařízení za pomoci dopředného pohybu lisovacího pístu, který by tak koláč vytlačil přes hranu komory. K filtrování by docházelo jak na stěnách komory, tak na vložce pohybující se pístnice, což by celý proces značně zefektivňovalo. Pracovní cykly jsou znázorněny na obr. 27.



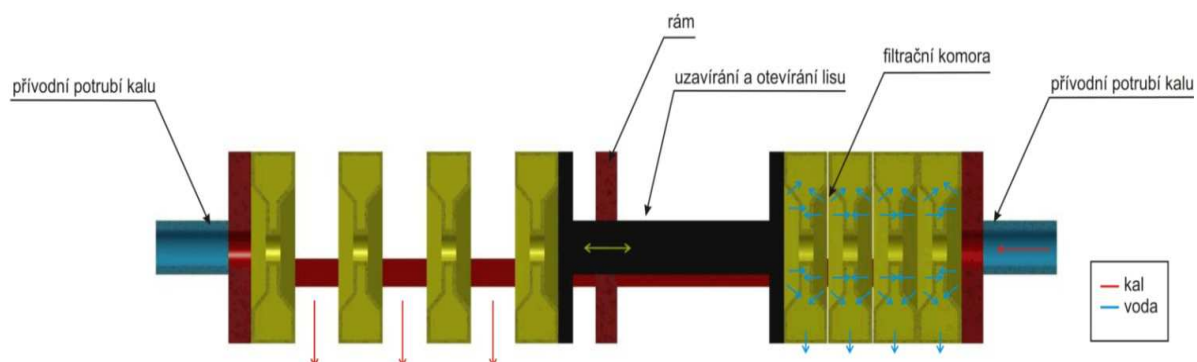
Obr. 26 Schéma filtračního lisu v řezu



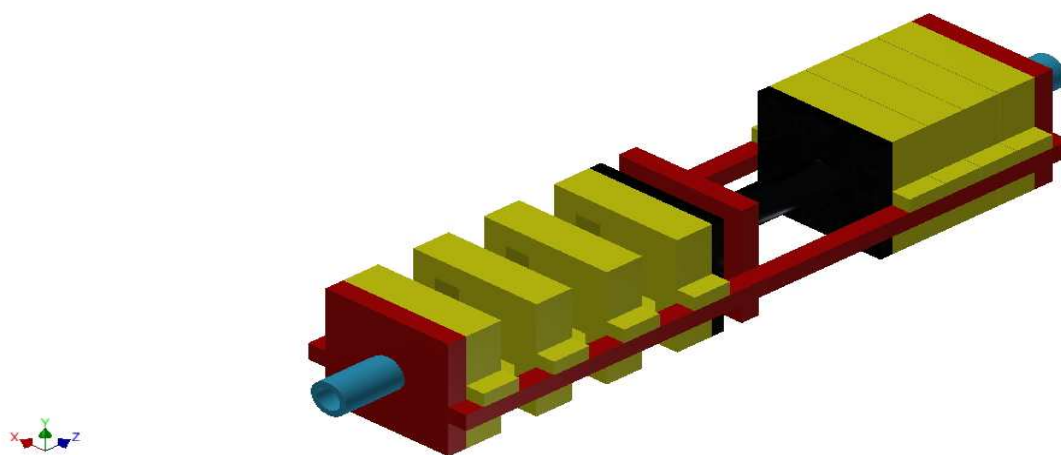
Obr. 27 Pracovní cykly lisu

6.6 Koncept F: Duální komorový kalolis

V tomto konceptu byl rozvinut velmi dobře fungující princip komorového kalolisu. A sice tím způsobem, kdy byly dvě jednotky vhodně spojeny za sebou a synchronizované tak, aby při plnění a lisování v jedné z nich mohlo docházet k vyprázdnění odvodněného koláče ve druhé (obr. 28). Pohon zavíracího pístu by byl mechanický, elektrický, pneumatický nebo hydraulický v závislosti na konkrétní konstrukci. Kal by byl dopravován do obou jednotek střídavě pomocí jediného kalového čerpadla. Proces lisování by se tak zefektivnil a došlo by k přiblížení se ke kontinuálnímu provozu. Stejně jako v ostatních konceptech by k filtrování docházelo přes filtrační tkaninu. Velkou výhodou tohoto konceptu je velmi dobrý přístup k filtrační plaketce, kterou tak lze zachovat čistou pro každý další lisovací proces. S čistotou plachetky úzce souvisí kvalita odvodnění kalu. V případě potřeby lze velmi jednoduše filtrační desku z rámu sundat, například při poškození či nutnosti výměny plachetky. Lis tak sice ztratí jednu komoru, ale může bez problémů fungovat s „libovolným“ počtem filtračních desek. Princip komor je možno dále rozvíjet v inovačním smyslu. Zejména se pak nabízí zjednodušení upnutí plachetky, odvodu koláče a odtoku kapaliny ven ze zařízení.



Obr. 28 Řez duálním komorovým kalolisem



Obr. 29 Duální komorový kalolis

6.7 Výběr konceptu

6.7.1 Rozhodovací tabulky

Pro další práci je třeba vybrat koncept, který bude nejvíce odpovídat požadavkům firmy a tedy i zadání celé práce. Z toho důvodu bylo provedeno nejprve základní rozřídění konceptů pomocí první tabulky, kde jsou koncepty hodnoceny dle stěžejních kritérií (Tab. 4). V této tabulce mají všechna kritéria stejnou váhu. Hodnocení bylo provedeno na základě intuice a získaných vědomostí při studiu problematiky lisování a při konzultacích.

HODNOCENÍ:

+ : koncept v daném kritériu vyniká v kladném slova smyslu

0 : koncept v daném kritériu nijak zvlášť nevyniká

- : koncept neplní požadavky daného kritéria

Kritérium	Koncepty					
	A	B	C	D	E	F
jednoduchost konstrukce	+	0	-	-	0	-
nenáročnost montáže	+	+	-	-	0	0
nenáročnost na údržbu	0	-	-	0	-	0
nenáročnost na obsluhu	+	0	+	+	0	0
bezporuchovost	+	+	-	0	0	+
životnost	+	+	0	0	-	+
cena	+	0	-	-	0	0
náklady na provoz	+	0	-	-	-	0
hmotnost	0	+	0	0	+	0
energetická nenáročnost	+	0	0	-	-	0
kontinuální proces	-	+	+	+	-	+
kvalita odvodnění kalu	-	0	0	0	+	+
zástavbový prostor	-	0	+	0	+	+
výkon	-	+	0	+	+	+
počet dílů	+	-	0	0	0	-
čištění plachetky	0	0	-	-	-	+
namáhání plachetky	+	0	0	0	-	0
uchycení plachetky	+	0	-	0	0	+
recyklovatelnost	+	0	0	0	0	0
součet (+)	12	6	3	3	4	8
součet (0)	3	11	8	10	8	9
součet (-)	4	2	8	6	7	2
skóre	8	4	-5	-3	-3	6
pořadí	1.	3.	6.	4.-5.	4.-5.	2.
vyhodnocení	ANO	ANO	NE	NE	NE	ANO

Tab. 4 Základní hodnocení konceptů

KRITÉRIA:

- **jednoduchost konstrukce** - jednoduchá konstrukce = levná, jednodušeji opravitelná
- **nenáročnost montáže** - bere v potaz čas potřebný pro montáž zařízení na dané místo
- **nenáročnost na údržbu** - zahrnuje čas potřebný k případným opravám
- **nenáročnost na obsluhu** - čas potřebný k obsluze stroje v pracovním režimu
- **neporuchovost** – doba, po kterou je zařízení schopno bez problémů pracovat
- **životnost** - doba, po kterou je zařízení schopno fungovat při optimálních podmínkách
- **cena** - vstupní investice do zařízení
- **náklady na provoz** - měsíční výdaje na provoz zařízení
- **hmotnost** - malá hmotnost = nízké náklady na výrobu, nižší nároky na konstrukci stanoviště pro lisovací zařízení
- **energetická náročnost** – spotřeba všech energií s ohledem na ekologii
- **kontinuální proces** – nepřerušovaný proces odvodňování
- **kvalita odvodnění kalu** – čím menší obsah vody ve vylisovaném koláči, tím lépe
- **zástavbový prostor** – velikost zařízení. Čím menší, tím výhodnější.
- **výkon** – objem přefiltrovaného kalu za časovou jednotku
- **počet dílů** – čím nižší, tím jednodušší výroba i montáž
- **čištění plachetky** – efektivita čištění filtrační plachetky. Čím čistší, tím efektivnější proces odvodnění.
- **uchycení plachetky** – čím jednodušší uchycení, tím snazší výměna a nižší cena.
- **namáhání plachetky** – čím větší síla působí na plachetku, tím kvalitnější materiál je potřeba použít = dražší materiál
- **recyklovatelnost** - možnost dalšího použití dílů zařízení s ohledem na ekologii

Koncepty s nejlepšími výsledky byly zpracovány do druhé, podrobnější rozhodovací tabulky (Tab. 5). V ní už nemají všechna kritéria stejnou váhu, ale každému je přiřazena váha důležitosti v procentech. Namísto tří stupňů hodnocení (+, 0, -), je v tomto případě použita podrobnější stupnice o rozsahu 1-10. Tato forma hodnocení umožní objektivnější posouzení sledovaných kritérií.

HODNOCENÍ: 1 – nejhorší, 10 – nejlepší

Kritérium	Váha (%)	Koncepty					
		A: PLOŠINA		B: VÁLCE		F: KOMORY	
		Hodnota	Vážená hodnota	Hodnota	Vážená hodnota	Hodnota	Vážená hodnota
jednoduchost konstrukce	5	8	0,4	5	0,25	3	0,15
nenáročnost montáže	1	7	0,07	8	0,08	6	0,06
nenáročnost na údržbu	4	5	0,2	3	0,12	6	0,24
nenáročnost na obsluhu	5	7	0,35	5	0,25	6	0,3
bezporuchovost	5	9	0,45	7	0,35	8	0,4
životnost	6	9	0,54	7	0,42	8	0,48
cena	8	7	0,56	6	0,48	6	0,48
náklady na provoz	6	8	0,48	5	0,3	5	0,3
hmotnost	3	4	0,12	7	0,21	6	0,18
energetická nenáročnost	6	8	0,48	6	0,36	6	0,36
kontinuální proces	5	2	0,1	9	0,45	7	0,35
kvalita odvodnění kalu	9	3	0,27	6	0,54	9	0,81
zástavbový prostor	4	2	0,08	6	0,24	8	0,32
výkon	8	2	0,16	7	0,56	8	0,64
počet dílů	4	7	0,28	3	0,12	3	0,12
čištění plachetky	7	5	0,35	4	0,28	8	0,56
uchycení plachetky	6	7	0,42	5	0,3	8	0,48
namáhání plachetky	7	7	0,49	6	0,42	6	0,42
recyklovatelnost	1	7	0,07	5	0,05	5	0,05
součet			5,87		5,78		6,7
pořadí			2.		3.		1.

Tab. 5 Detailní hodnocení konceptů

VÁHY HODNOTÍCÍCH KRITÉRIÍ:

- **jednoduchost konstrukce** – čím jednodušší konstrukce, tím jednodušší servisovatelnost a snazší výroba. **5%**
- **nenáročnost montáže** – čas potřebný pro montáž zařízení není z dlouhodobého hlediska podstatný. **1%**
- **nenáročnost na údržbu** – čím kratší doba potřebná pro údržbu, tím lépe. **4%**

- **nenáročnost na obsluhu** – čím je kladena menší náročnost na obsluhu, tím lépe. **5%**
- **neporuchovost** – čím delší dobu bude schopno zařízení pracovat bez poruchy, tím jsou náklady na jejich odstranění menší. **5%**
- **životnost** – čím delší dobu je zařízení schopno plnit svoji funkci, tím lépe. **6%**
- **cena** – vzhledem k tomu, že se jedná o malou firmu, je počáteční investice důležitým parametrem. **8%**
- **náklady na provoz** – čím nižší měsíční výdaje spojené s chodem zařízení, tím lépe. **6%**
- **hmotnost** – čím vyšší hmotnost, tím větší nároky na dopravu a instalaci na místo určení. **3%**
- **energetická náročnost** – nižší energetická náročnost znamená jak ekologickou, tak ekonomickou úsporu. **6%**
- **kontinuální proces** – nepřerušovaný chod zařízení je výhodnější ve všech ohledech. **5%**
- **kvalita odvodnění kalu** – je stěžejním parametrem celého procesu. **9%**
- **zástavbový prostor** – s ohledem na umístění zařízení poblíž nádrží je třeba brát tento parametr v potaz. **4%**
- **výkon** – čím rychleji je zařízení schopno pracovat, tím lépe. **8%**
- **počet dílů** – menší počet dílů znamená jednodušší výrobu, montáž a servisovatelnost. **4%**
- **čištění plachetky** – čistota plachetky má rozhodující vliv na kvalitu filtračního koláče. **7%**
- **uchycení plachetky** – má významný vliv na časovou náročnost při jejím vyměňování. **6%**
- **namáhání plachetky** – čím menší síla na plachetku působí, tím nižší nároky jsou kladeny na její vlastnosti. **7%**
- **recyklovatelnost** – je parametr, o který se dnes bohužel nikdo moc nezajímá. **1%**

6.8 Hodnocení

6.8.1 Koncept A: Plošina

- **jednoduchost konstrukce** – velmi jednoduchá konstrukce, kterou může komplikovat zvedací zařízení. Nicméně tento způsob na zvedacím zařízení nestojí. Je možné ho jednoduše nahradit stacionárním umístěním a použitím čerpadla.
- **nenáročnost montáže** – samotná montáž by neměla být nikterak složitá.
- **nenáročnost na údržbu** – je zapotřebí měnit plachetku a případně sledovat stav zvedacího zařízení.
- **nenáročnost na obsluhu** – na obsluhu jsou kladeny nároky zejména při vyprazdňování pracovního prostoru od vysušeného koláče. Další nároky na obsluhu vyžaduje ovládání plošiny.
- **neporuchovost** – zařízení na tomto principu je schopno pracovat dlouhá léta bez poruchy.
- **životnost** – celková životnost zařízení je také velmi dobrá.
- **cena** – vstupní investice do zařízení vzhledem k jeho jednoduchosti je malá.
- **náklady na provoz** – měsíční výdaje na provoz jsou závislé na pohonu zvedacího zařízení, případně na použití plnicího čerpadla.
- **hmotnost** – vzhledem k tomu, že (poměrně robustní) zařízení využije celého prostoru nádrže, je váha oproti jiným konceptům vyšší.
- **energetická náročnost** – je závislá na pohonu zvedacího zařízení, případně na použití plnicího čerpadla.
- **kontinuální proces** – nejedná se o kontinuální proces. Jde o proces poměrně zdoluhavý, který je závislý na počasí.
- **kvalita odvodnění kalu** – v případě dostatečně dlouhé doby sušení je kvalita uspokojivá.
- **zástavbový prostor** – s ohledem na velikost konstrukce odpovídá zástavbový prostor objemu nádrže.
- **výkon** – doba odvodnění kalu za použití tohoto principu je velmi dlouhá.
- **počet dílů** – zařízení nesestává z velkého množství složitých dílů.
- **čištění plachetky** – po každém cyklu je třeba, aby pracovník plachetku vyčistil.
- **uchycení plachetky** – jednoduché (vzhledem k obdélníkovému tvaru).

- **namáhání plachetky** – filtrační plachetka je zatížena pouze samotnou vahou sušeného kalu.
- **recyklovatelnost** – dobrá.

6.8.2 Koncept B: Filtrační válce

- **jednoduchost konstrukce** – tento koncept sestává z více částí. Nicméně se jedná o jednoduché a snadno vyrobitelné díly.
- **nenáročnost montáže** – jedná se o kompaktní zařízení, jehož montáž na příslušném stanovišti bude jednoduchá.
- **nenáročnost na údržbu** – vzhledem ke konstrukci klade zařízení značné nároky na jeho údržbu.
- **nenáročnost na obsluhu** – při vyprazdňování filtračního válce jsou kladeny nároky na pracovníka, který musí zajistit vypadnutí koláče a následnou čistotu filtračních plachetek.
- **neporuchovost** – zařízení by mělo fungovat bez větších problémů.
- **životnost** – bude se odvíjet především od čistoty plachetek a jejich případné výměny.
- **cena** – Jedná se o složitější konstrukci než v konceptu A, tudíž i cena bude vyšší.
- **náklady na provoz** – zahrnují náklady na provoz čerpadla a na mzdu pracovníka, jež bude zařízení obsluhovat.
- **hmotnost** – nebude velká.
- **energetická náročnost** – spotřeba energie na pohon čerpadla.
- **kontinuální proces** – vzhledem ke střídavému plnění dvou válců se zařízení kontinuálnímu procesu přibližuje.
- **kvalita odvodnění kalu** – dobrá. Bude záviset na čistotě plachetek.
- **zástavbový prostor** – celé zařízení nezabere mnoho prostoru.
- **výkon** – vzhledem ke střídavému plnění dobrý.
- **počet dílů** – větší počet jednodušších dílů.
- **čištění plachetky** – filtry lze vysunout z filtračního válce, je tedy umožněn relativně dobrý přístup pro jejich čištění.
- **uchycení plachetky** – vzhledem ke konstrukci jde zde o složitější uchycení filtračních plachetek.

- **namáhání plachetky** – plachetka je namáhána vzrůstajícím tlakem ve válci.
- **recyklovatelnost** – dobrá.

6.8.3 Koncept F: Duální komorový kalolis

- **jednoduchost konstrukce** – ač na první pohled složité zařízení je jednoduše zkonstruované a umožňuje lisování kalu pouze za pomoci plnicího čerpadla.
- **nenáročnost montáže** – po zkonstruování vhodného stanoviště je montáž zařízení velmi jednoduchá.
- **nenáročnost na údržbu** – jednoduchá konstrukce nevyžaduje časově náročné opravy
- **nenáročnost na obsluhu** – záleží na stupni automatizace, je totiž jednoduše možné automatický proces nahradit lidskou silou a naopak.
- **neporuchovost** – na zařízení není mnoho věcí, jež by se mohly porouchat.
- **životnost** – je odvislá od životnosti filtračních plachetek.
- **cena** – jedná se o malé kompaktní zařízení, sestávající z více dílů. Nicméně tyto díly jsou velmi jednoduché, z čehož plyne únosná vstupní investice.
- **náklady na provoz** – závisí na stupni automatizace.
- **hmotnost** – vzhledem k velikosti zařízení v porovnání s konkurencí nízká.
- **energetická náročnost** – závisí na stupni automatizace.
- **kontinuální proces** – duálním kaloliséem se proces přiblíží kontinuálnímu.
- **kvalita odvodnění kalu** - velmi dobrá.
- **zástavbový prostor** – v porovnání s konkurencí malý.
- **výkon** – v případě dvou kalolisů velmi dobrý.
- **počet dílů** – únosný.
- **čištění plachetky** – v nepracovním cyklu je umožněn dobrý přístup k plachetkám.
- **uchycení plachetky** – s ohledem na čtvercový tvar jednoduché.
- **namáhání plachetky** – v porovnání s konkurencí větší.
- **recyklovatelnost** – dobrá.

7 Rozpracování vítězné varianty – duální komorový kalolis

Vítězná varianta bude založena na principu filtrace v komorách pomocí plnicího čerpadla.

Stěžejní body konstrukce:

- Filtrační komora musí být v době filtrace těsná
- Filtrační komoru je možné otevřít, což umožní vypadnutí koláče
- Vyfiltrovaná voda je odvedena ven ze zařízení
- Filtrační plachetka je vhodným způsobem upnutá a je umožněna její snadná výměna a čištění
- Vhodný systém uzavírání/otevírání lisu umožňující synchronizaci dvou lisů.
- Vhodný systém plnění dvou lisů

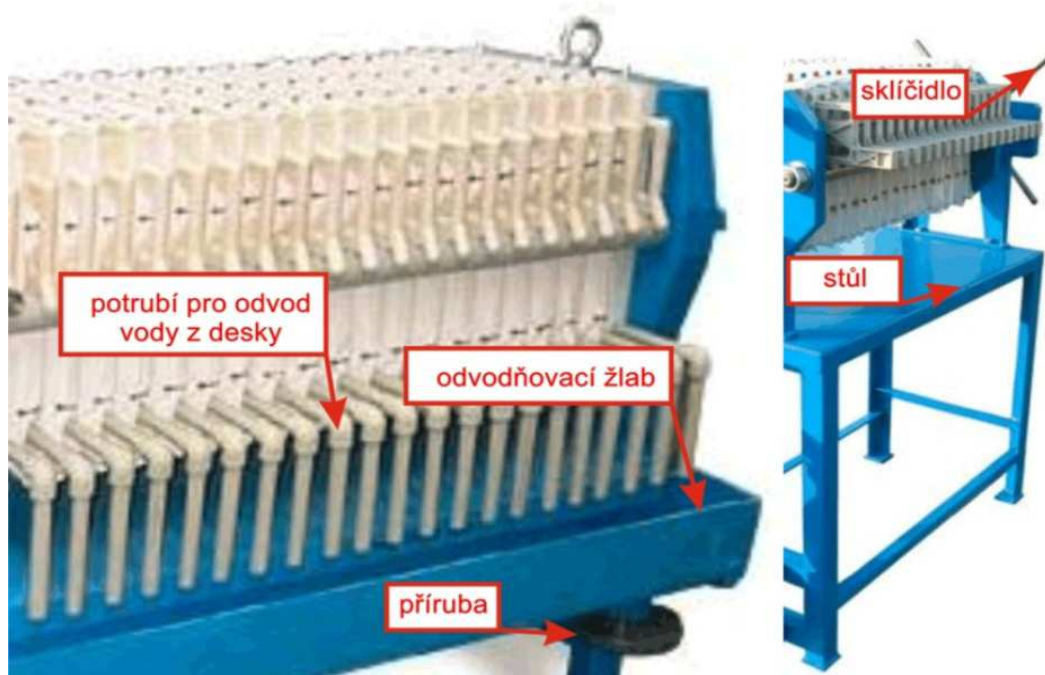
Slabá místa konstrukce menších komorových kalolisů:

- upnutí plachetky přes okraj filtrační desky (obr. 30).
- složitá výměna – odjištění plachetky z upínacích bodů a následné protažení jedné strany středovým nátokem desky.
- možná netěsnost filtrační komory při přeložení plachetky vlivem „nabobtnání“ na stykových plochách desek.
- při porušení plachetky na jedné straně nutnost výměny celé dvoustranné plachetky (sešitá středovým nátokem).



Obr. 30 Upnutí plachetky

- přerušovaný proces lisování – po lisování tlakem čerpadla dojde k jeho vypnutí a následnému vyprazdňování komor kalolisu. Po vyprázdnění a opětovném uzavření se může čerpadlo znovu pustit, čímž dojde k opětovnému lisování.
- složitý odvod filtrátu ze zařízení (obr. 31) – vývod vody z každé desky do žlabu, jež ústí přírubou pro připojení elementu k odvedení vody ze zařízení.

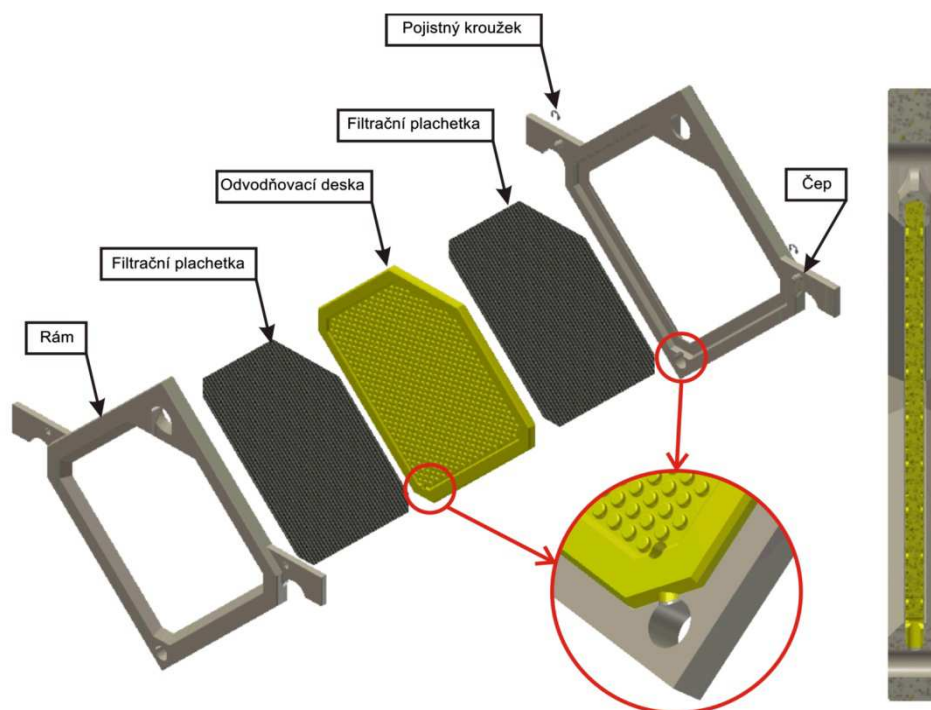


Obr. 31 Odvod vody ze zařízení (vlevo), uzavírací sklíčidlo (vpravo) [10]

- složité vypnutí koláče (obr. 31) – na „stůl“ odkud je ho třeba dále přemístit.
- namáhavé a zdlouhavé zavírání a otevírání zařízení pomocí sklíčidla (obr. 31).

7.1 Princip lisování

Komorová deska: Upnutí plachetky je zjednodušeno tak, aby nebylo nutné její sešití a použití upínacích ok. Filtrační komorová deska se skládá ze 2ks rámu, 2ks filtračních plachetek a 1ks odvodňovací desky. Plachetka je vložena mezi rám a odvodňovací desku, kde je sevřena na stykových plochách těchto desek. Celá sestava komorové desky je proti pohybu zabezpečena čepy a pojistnými kroužky (obr. 33). Případná výměna plachetky je oproti plachetce s nátokem značně zjednodušena, navíc je možno měnit plachetku na každé straně filtrační desky zvlášť dle potřeby. Sestava komorové desky je symetrická, je tedy umožněna filtrace na obou jejích stranách. Filtrát (přefiltrovaná kapalina) prochází skrz plachetku do prostoru odvodňovací desky, která je opatřena drenáží pro odvod filtrátu. Celá sestava je orientována tak, aby filtrát stékal do jediného místa, čímž došlo ke zjednodušení odvodu filtrátu. Odvodňovací deska odvádí filtrát a zároveň je díky výstupkům oporou plachetky při filtraci. V odvodňovací desce jsou v její spodní části kanálky, aby mohl filtrát odcházet do rámu komorové desky.



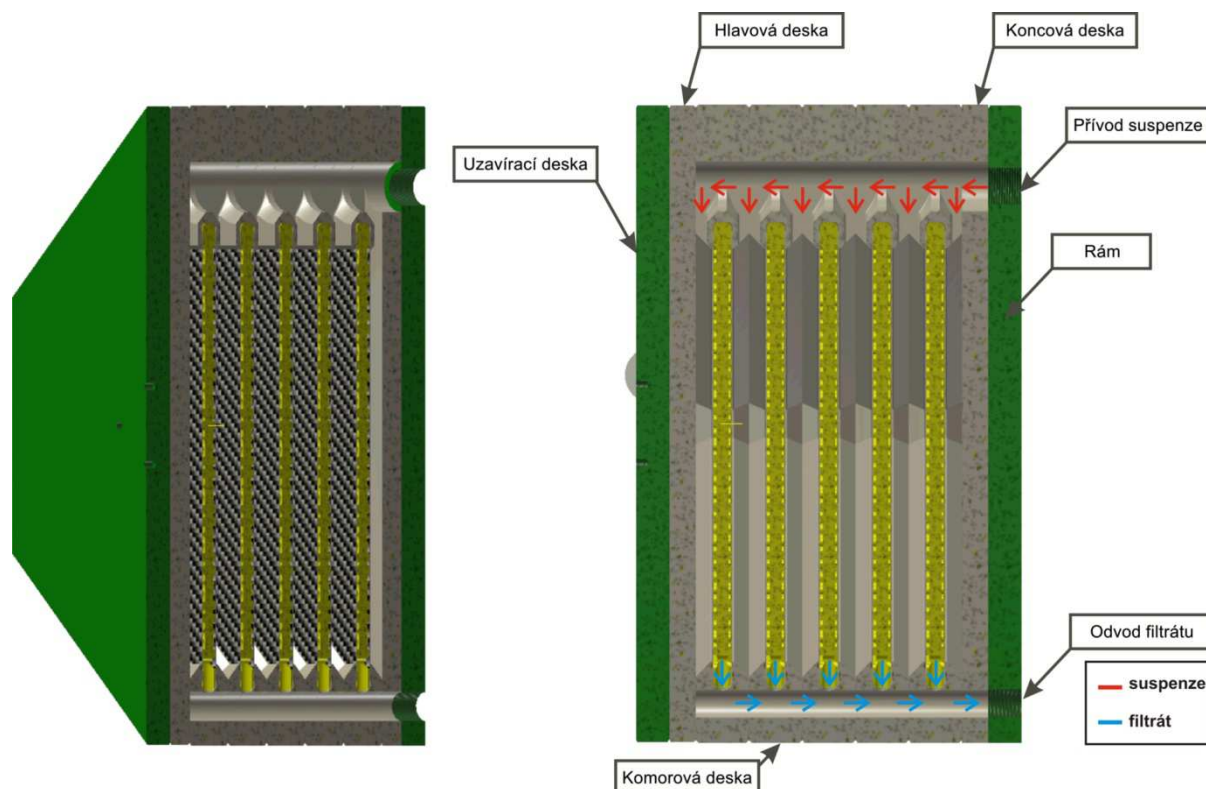
Obr. 32 Rozpad komorové desky (vlevo), komorová deska v řezu (vpravo)

Jako dodavatel filtračních plachetek byla zvolena firma Czech Industrial Fabrics s.r.o. Charakteristika zvolené filtrační plachetky je uvedena v přehledné tab. 6. Mechanická pevnost je uvedena v dekanewtonech na 5cm šíře tkaniny ve směru osnovy a útku. Zjednodušené plachetky na jednu desku stojí 100,- Kč, což je úspora 60,- Kč oproti plachetce s nátokem a oky pro uchycení.

Materiál	PP multifil	
Konečná úprava	Tepelná stabilizace a kalandrování	
Plošná hmotnost	(g/m ²)	305
Tloušťka	(mm)	0,7
Prodyšnost vzduchu	(l/dm ² /min)	8
Tepelná odolnost:	dlouhodobá (C)	70
	maximální (C)	95
Chemická odolnost:	kyseliny	Dobrá
	zásady	Dobrá
	oxidační činidla	Omezená
Mechanická pevnost:	osnova (daN/5 cm)	415
	útek (daN/5 cm)	365
Odolnost proti oděru	Střední	
Stabilita na světle	Nízká	
Měrná hmotnost	(g/cm ³)	0,91
Použití	Filtreační plachetka pro malé kalolisy	

Tab. 6 Charakteristika filtrační plachetky [6]

Soustava desek:



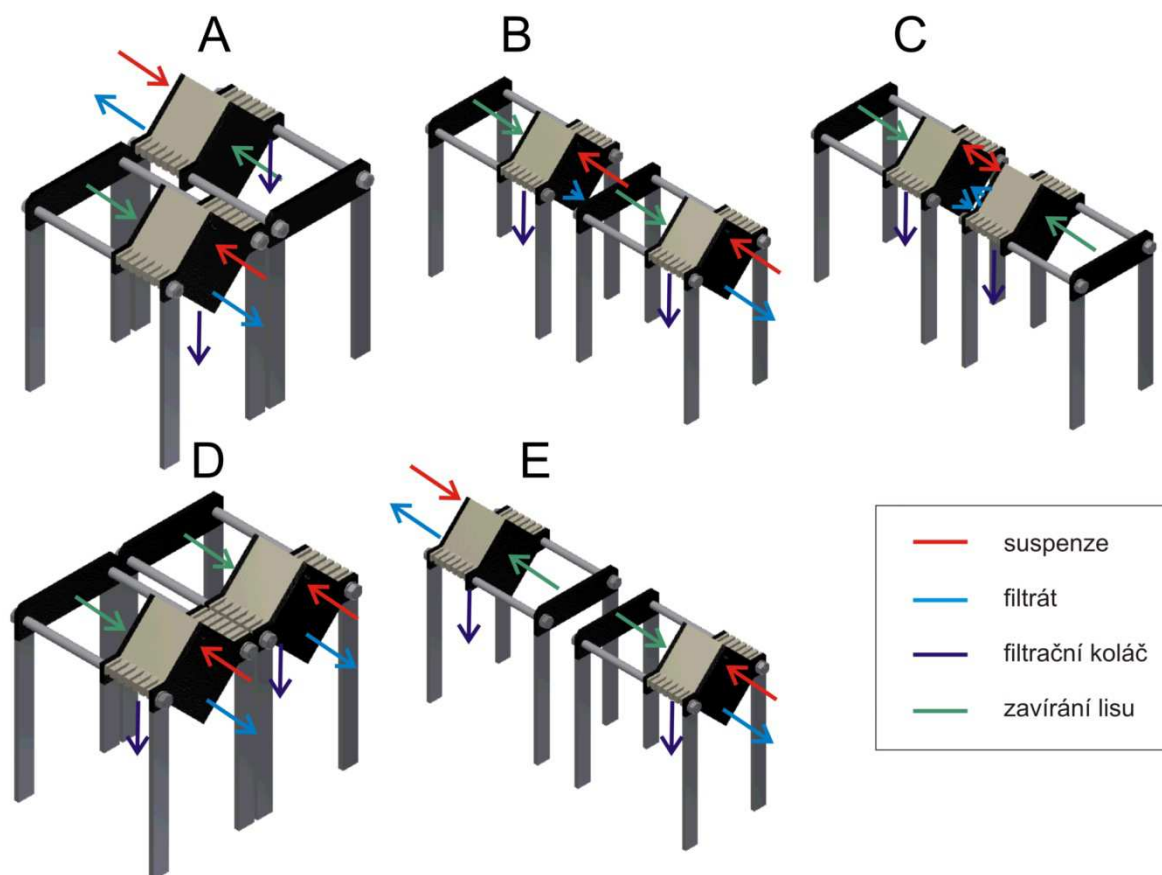
Obr. 33 Soustava desek v řezu

Přisunutím filtračních desek k sobě mezi nimi vzniknou filtrační komory a také kanálek pro nátok suspenze a odvod filtrátu (obr. 33). Suspenze, jež je přivedena do lisu, prochází skrz filtrační desky nátokem v jejich horní části, tím je suspenze rozvedena do všech filtračních desek. V těchto deskách dochází k filtraci suspenze pomocí filtrační plachetky a narůstajícího tlaku přiváděné suspenze. Zatímco pevné částice ulpívají na plachetce a ve filtrační komoře narůstá filtrační koláč, filtrát je sveden v každé komorové desce do její spodní části, odkud putuje kanálkem na okraj zařízení. Tloušťku filtračního koláče určuje tvar komorových desek. V navrhnutém řešení má hodnotu 25 mm.

7.2 Rozmístění zařízení

Zařízení duálního komorového lisu je třeba vhodně rozmístit a synchronizovat, aby bylo možno filtrační proces co možná nejvíce zefektivnit a přiblížit kontinuálnímu provozu. Je třeba brát v úvahu pohyby obsluhy, vypadnutí filtračního koláče, vzdálenosti toků energie a v neposlední řadě vzdálenost vedení pro plnění a vyprazdňování zařízení. Bylo navrženo několik variant, které jsou znázorněny na obr. 34. Jelikož jsou posuzovací kritéria jednoduchá, byl výběr nejlepší varianty stanoven úvahou. Jako nejlepší byl vyhodnocen návrh rozmístění **D**. U tohoto rozmístění dochází k vypadnutí filtračního koláče prakticky do jednoho místa. Další výhodou je,

že plnění suspenzí, odvod filtrátu a uzavírání zařízení je vždy na jedné straně, čímž je jednodušší vedení potrubí, nebo hadic, které tak bude možno vhodným způsobem uspořádat, aby byl umožněn bezpečný pohyb obsluhy kolem zařízení.



Obr. 34 Návrhy rozmístění zařízení

7.3 Zavírání zařízení

Síla potřebná na uzavření zařízení:

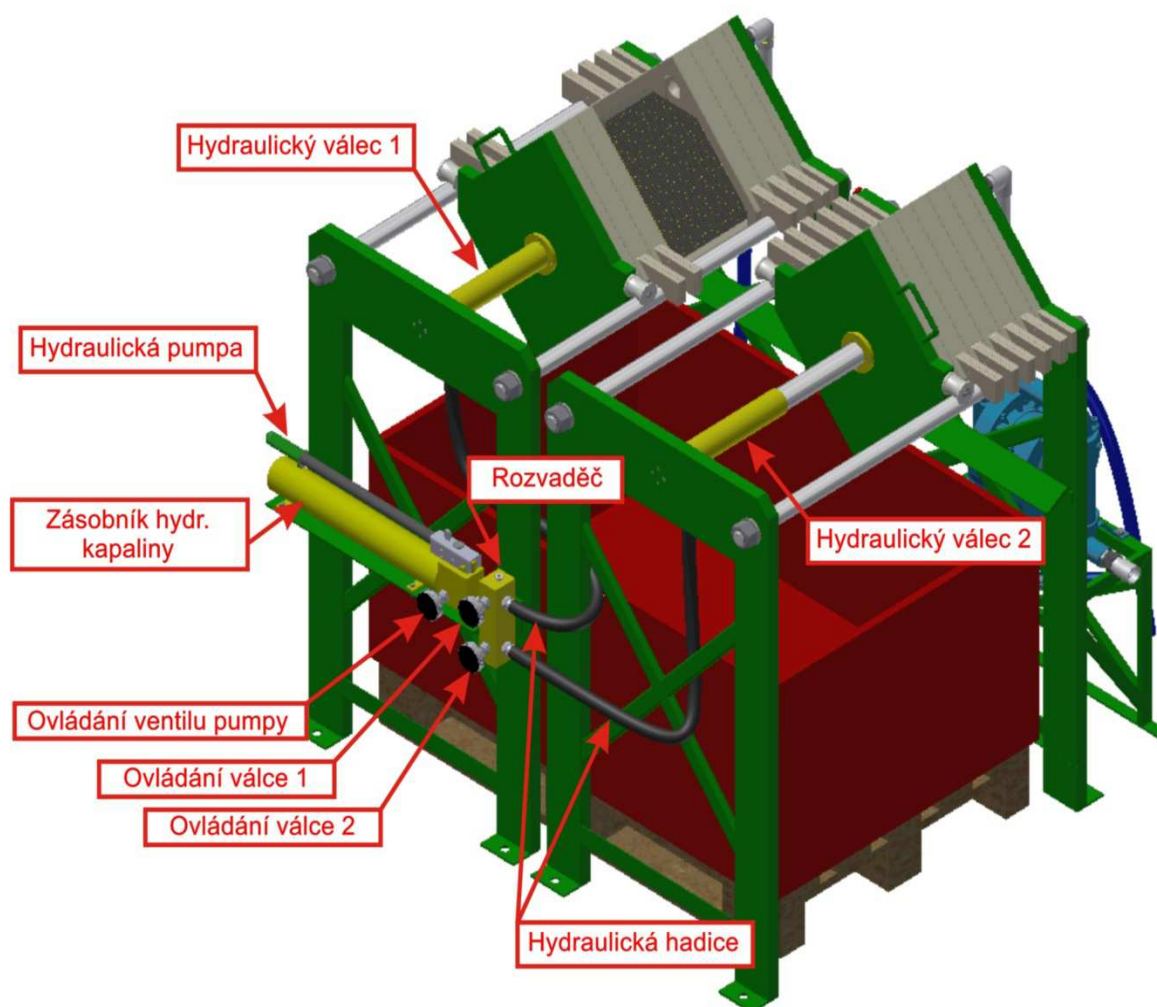
Maximální plnicí tlak čerpadla je 8,6 bar = 0,86 Mpa = 860 000 Pa

Plocha filtrační desky, na kterou tlak působí je odvozena z modelu v programu Inventor a má hodnotu $S = 0,1089 \text{ m}^2$

Síla, jež působí proti směru uzavření komory:

$$F = p * S = 860\,000 * 0,1089 = 93\,654 \text{ N} = 93,654 \text{ kN} \quad (1)$$

Uzavírání lisu bude zabezpečeno pomocí hydraulického systému. S ohledem na náklady, objem filtrované suspenze a velikost zařízení bude použito pouze jediné ruční pumpy pro dva válce, což bude umožněno díky rozdělovači. Jedná se tedy o systém, kde jsou nezávisle ovládány dva pracovní válce. Přídavný rozdělovač s uzavíracími ventily umožňuje samostatně řídit dva tlaky v systému a tím dosahovat odlišné síly na jednotlivých hydraulických válcích, pomocí uzavírání jednotlivých větví systému (obr. 35) [22].



Obr. 35 Hydraulický, uzavírací systém

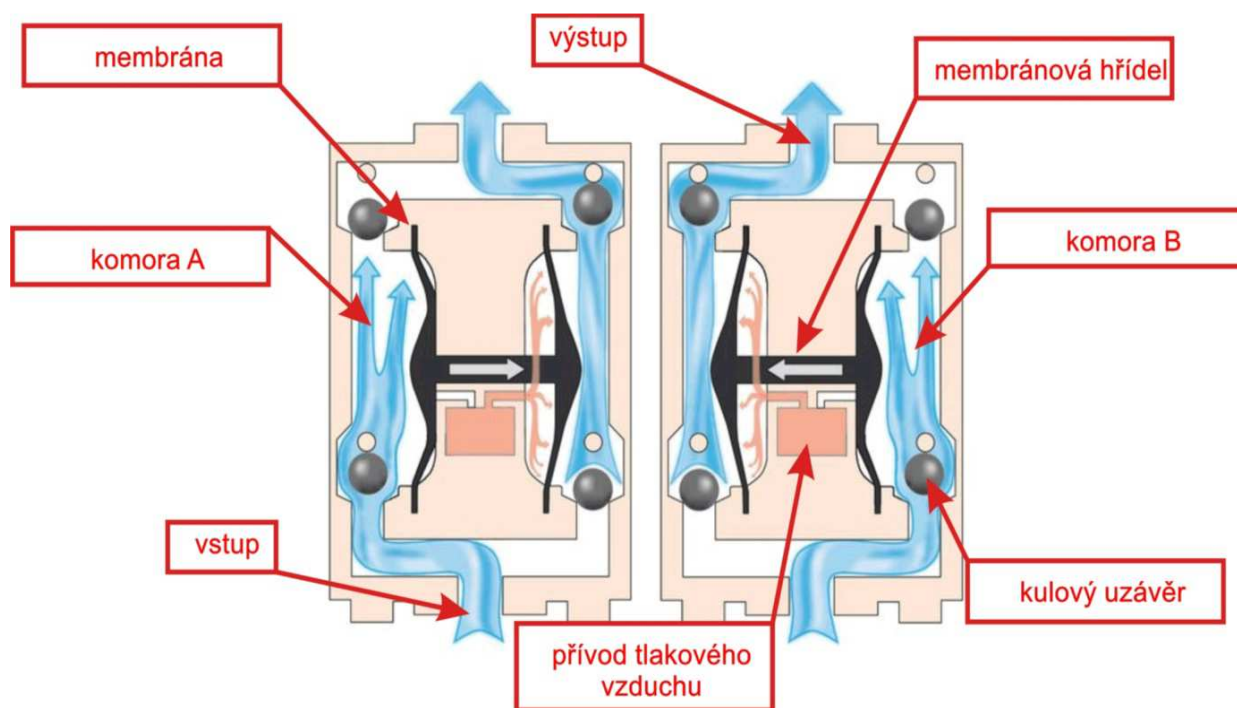
Princip ruční pumpy je jednoduchý: pohybem páky se nasaje olej do prostoru pístku přes jednosměrný ventil. Působením síly na páku se pístek zatlačí do tělesa pumpy a tím vytlačí olej přes jednosměrný ventil do hadice na výstupu. Tato situace se cyklicky opakuje až do uzavření lisu. Po lisování je třeba komory otevřít. K tomu dojde po otevření ventilu na hydraulické pumpě, čímž se přepustí olej z válce zpět do nádrže hydraulické pumpy. Jako dodavatel hydraulického uzavíracího systému byla zvolena firma Procházka MP s.r.o., která má v nabídce kompletní hydraulické příslušenství. Byly zvoleny 2ks válce ZS-10/250 + příruba pro uchycení (tlačná síla 100kN, zdvih 250mm, max. objem oleje 325cm³, stavební výška se zasunutým pístem 330mm), ruční pumpa HPS-2/0,3 A (dvoustupňový režim chodu, obsah oleje 700 cm³), rozvaděč MY-22, 2ks 1m hydraulické hadice HHC10 (vnější závit G 3/8) (obr. 36).



Obr. 36 Prvky hydraulického systému

7.4 Doprava suspenze do zařízení

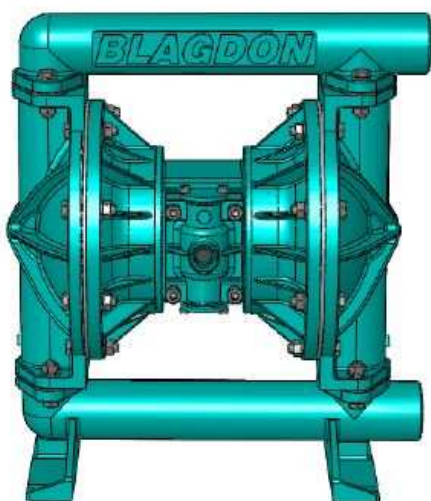
K plnění lisu bude použito vzducho-membránové čerpadlo, které pracuje na jednoduchém principu. Skládá se z nízkého počtu dílů, má vysokou spolehlivost, snadnou opravitelnost. Dále je velmi univerzální a dovede čerpat nejrůznější látky, mezi které patří také kalová suspenze. Rozvod tlakového vzduchu, který slouží pro pohon čerpadla, je po celém areálu firmy. Princip je znázorněn na obr. 37. Nasávaná kapalina je přivedena do vstupního otvoru čerpadla, odtud putuje střídavě do dvou komor A a B. Čerpadlo je poháněno tlakovým vzduchem, který posouvá membránovou hřídel střídavě doprava a doleva. Tím v jedné komoře vzniká díky membráně podtlak a dochází tak k nasávání a v druhé komoře v důsledku přetlaku dochází k pohybu kapaliny směrem k výstupu ze zařízení. K správnosti funkce přispívají 4 kulové uzávěry, které se pohybují v důsledku tlaku vyvolaného membránou [18].



Obr. 37 Princip vzducho-membránového čerpadla [18]

Požadavky na montáž [21]:

- umístění do svislé polohy, což je důležité pro počáteční zaplnění čerpadla kapalinou
- zajištění proti jakémukoliv pohybu, čímž se zabrání poškození zapojovacích dílů.
- tlak vzduchu na vstupu nesmí překročit nominální hodnotu čerpadla. Případně je třeba použít tlakový regulátor.



Obr. 38 Blagdon B2505 [21]

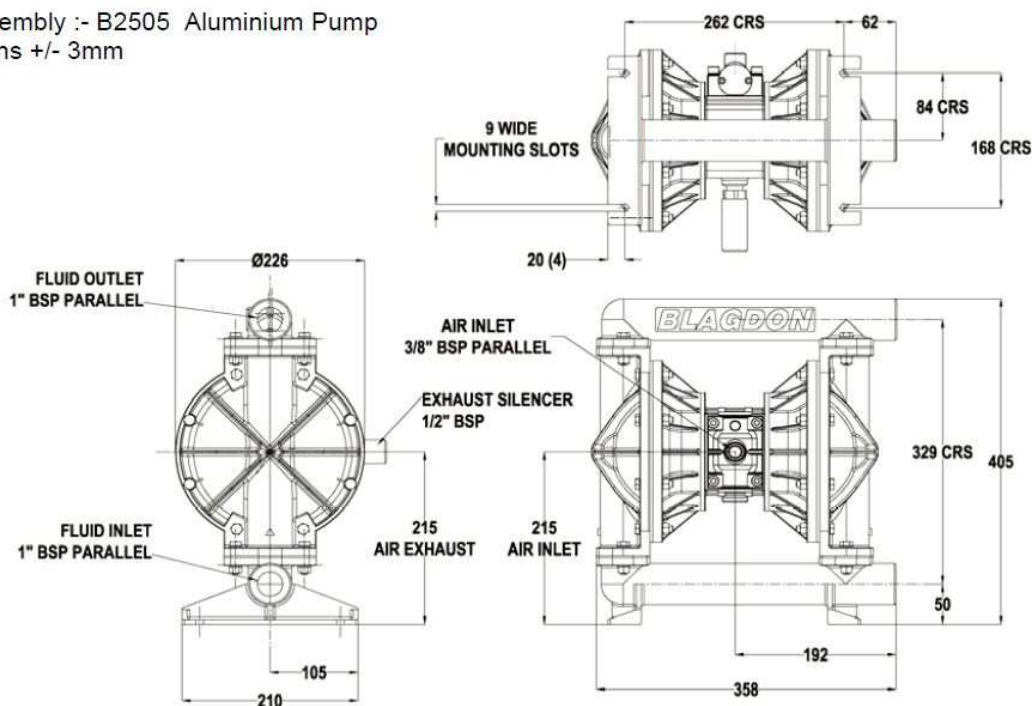
Obecná charakteristika [21]:

- čerpadlo je poháněno tlakovým vzduchem.
- na výstupu je stejný tlak kapaliny, jako je tlak hnacího vzduchu na vstupu.
- dobrá účinnost zařízení je závislá na čistém a suchém vzduchu. Zařízení je vybaveno jednotkou, která zachycuje nečistoty a vlhkost z rozvodu vzduchu.

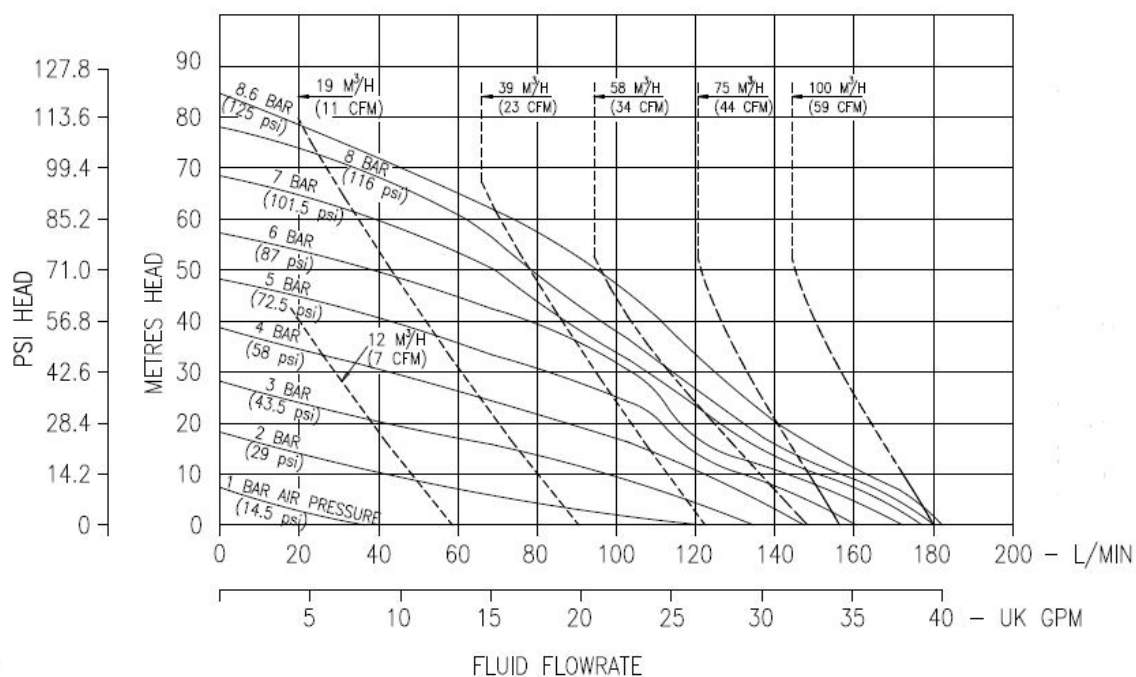
Pro spuštění čerpadla se otevře ventil na přívodu stlačeného vzduchu do čerpadla. Dále se již čerpadlo reguluje samo (dle narůstajícího protitlaku v kalolisu se

snižuje frekvence zdvihů čerpadla - tedy průtok). Vhodné čerpadlo bylo vybíráno z nabídek firem: HENNLICH s.r.o., ROLIOL s.r.o. a GEORGIA s.r.o. Jako nejvhodnější pro danou konstrukci bylo zvoleno vzduchomembránové čerpadlo anglické firmy BLAGDON, kterou na českém území zastupuje firma ROLIOL s.r.o. a sice typ B2505 (obr. 38). Ten vyniká jednak vysokým výkonem a je v porovnání s konkurencí levnější až o 10 000,- Kč [21].

General Assembly :- B2505 Aluminium Pump
All dimensions +/- 3mm



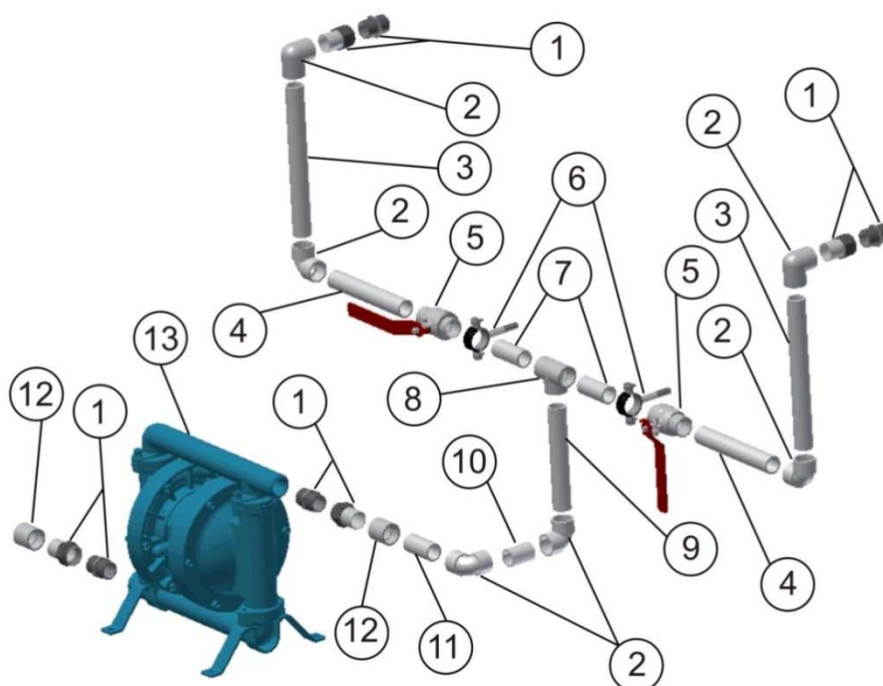
Obr. 39 Rozměry čerpadla B2505 [21]



Obr. 40 Charakteristika čerpadla B2505 [21]

Charakteristika čerpadla je na obr. 40. Na vodorovné ose je průtok čerpadla „v l/min“ a také v „galon/min“. Na svislé ose se nachází protitlak v „m“ a „psi“, který v kalolisu postupně narůstá, čímž se snižuje průtok. Plné křivky grafu znázorňují tlak vzduchu na vstupu, který je roven tlaku na výstupu čerpadla. Na čerpadle se nachází regulace tlaku vzduchu. Čím vyšší tlak, tím vyšší průtok čerpadla. Čárkované křivky značí množství spotřebovaného vzduchu čerpadlem. Při tlaku vzduchu 8 bar by byl průtok čerpadlem při nulovém protitlaku 180 l/min a spotřeba vzduchu by byla 100 m³/h.

Pro dopravu kalu z nádrže do čerpadla a také z čerpadla do lisu bylo zvoleno plastové svařované potrubí, které bylo vybíráno z nabídek firem Ekoplastic, Lunaplast a FV Plast. Firma Ekoplastic nabízí všechny potřebné díly za přijatelné ceny, proto byla jako dodavatel zvolena právě ona. Rozpad potrubí je na následujícím obr. 41. Seznam elementů byl zpracován do tab. 7. Pro napojení lisu a čerpadla k potrubí bylo zvoleno rozebíratelné spojení „Šroubení vnější“, které se skládá ze šroubení s vnějším závitem, trubky s převlečnou maticí a těsnění (1). Díky této součásti je možné potrubí v případě potřeby kdykoli demontovat, aniž by došlo k jeho porušení. Pro uzavření a usměrňování toku vždy do jednoho lisu je na každé větvi instalován kulový kohout (5). U každého kohoutu je instalována kovová objímka (6), která zvyšuje pevnost potrubí a zabraňuje tak případnému poškození. Zvolené komponenty jsou vybrány z katalogu a uvedeny v příloze: **Příloha č. 2: Elementy potrubí.**



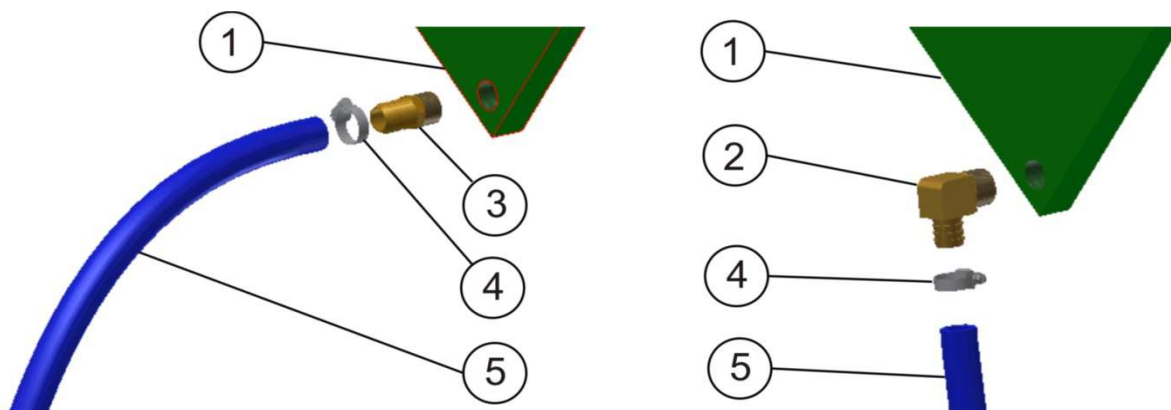
Obr. 41 Rozpad potrubí

Číslo	Název	Kód	Informace
1	Šroubení vnější	SSE03232XX	3 ks
2	Koleno 90°	SKO03290XX	6 ks
3	Potrubí	STR032P10X	2 ks (2x 282 mm)
4	Potrubí	STR032P10X	2 ks (2x 200 mm)
5	Kohout kulový	SVEK032XXX	2 ks
6	Objímka kovová	PRKB03240XX	2 ks
7	Potrubí	STR032P10X	2 ks (2x 89 mm)
8	T-kus	STK032XXXX	1 ks
9	Potrubí	STR032P10X	1 ks (191 mm)
10	Potrubí	STR032P10X	1 ks (41 mm)
11	Potrubí	STR032P10X	1 ks (63 mm)
12	Nátrubek	SNA032XXXX	2 ks
13	Čerpadlo	-	1ks



Tab. 7 Elementy potrubí

7.5 Odvod filtrátu ze zařízení

Filtrát je přiveden až na okraj zařízení, odtud je možné jeho odvedení do zvoleného místa pomocí hadice. Rozpad dílů pro odvod filtrátu je na obr. 42. Tyto elementy jsou zpracovány též do tab. 8. S ohledem na prostor v okolí zařízení je třeba z každého lisu vést hadici jiným směrem. To je umožněno díky šroubení s hadicovým trnem, které je rovné (3), nebo má tvar kolene 90° (2). Hadice (5) je nasazena na trn a zabezpečena hadicovou sponou (4).



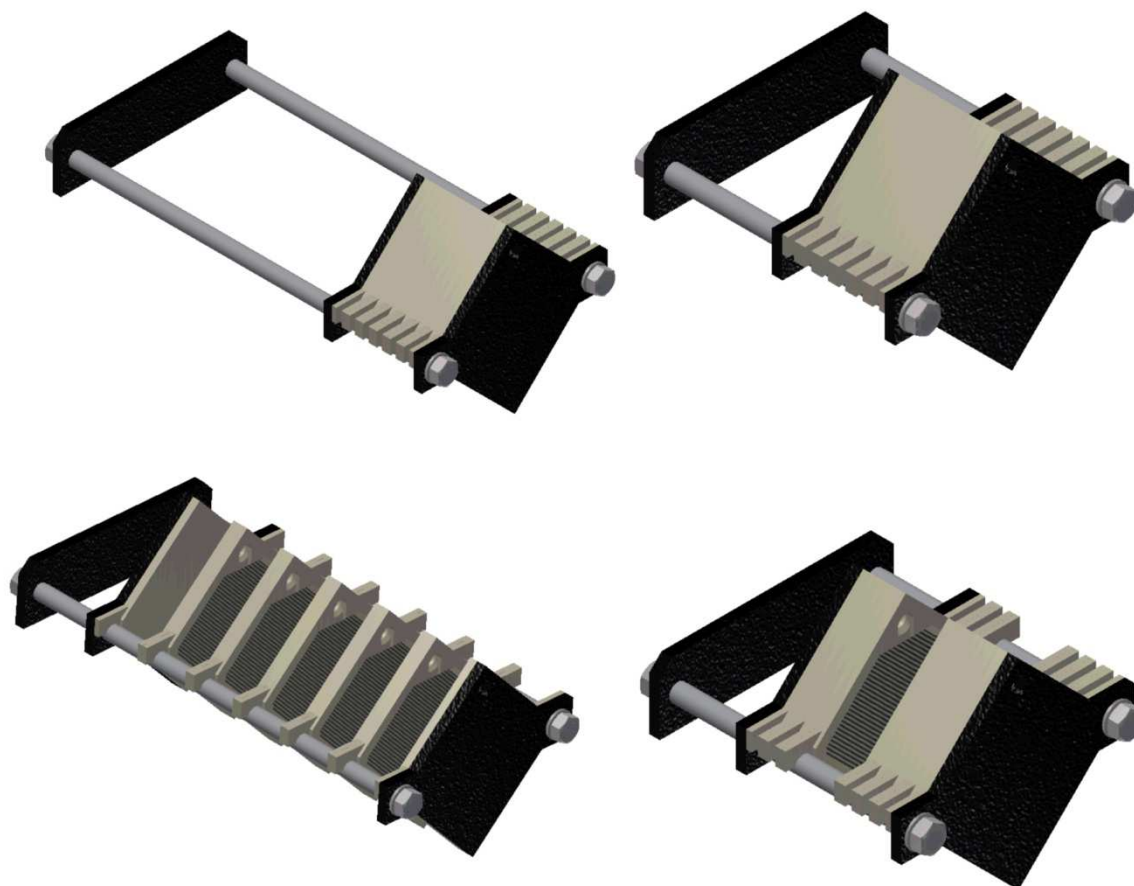
Obr. 42 Rozpad odvodu filtrátu

Číslo	1	2	3	4	5
Název	Rám	Hadicový násadec	Hadicový násadec 90°	Hadicová spona	Hadice
Dodavatel	-	Gumex s.r.o	Gumex s.r.o	Gumex s.r.o	Gumex s.r.o
Informace	-	Vnější průměr trnu 19 mm Vnější závit G3/4"	Vnější průměr trnu 19 mm Vnější závit G3/4"	Rozsah upínání 20-32 mm Šíře pásky 9 mm	Průměr vnitřní 19 mm Průměr vnější 26 mm
					

Tab. 8 Elementy pro odvod filtrátu

7.6 Odsouvání desek

Jednoduchého principu odsouvání desek, který by korespondoval se zadáním, by bylo možno dosáhnout vhodnou konstrukcí tvarové vazby, jež by při odsouvání závěrné desky způsobila odsunutí všech desek najednou. Závěrnou desku by bylo možné ovládat například pomocí dvojčinného hydraulického válce (obr. 43).

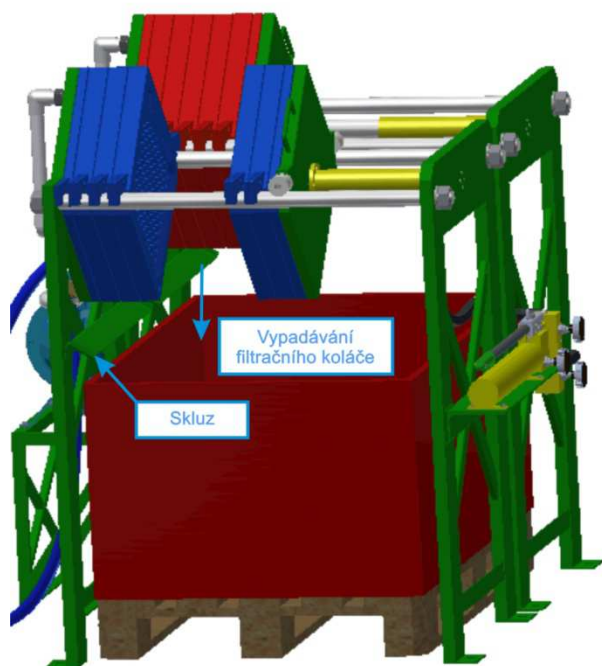


Obr. 43 Odsouvání desek najednou (vlevo), po jedné (vpravo)

Tato konstrukce se potýká s daleko větším zástavbovým prostorem, ale hlavně s mnohonásobně vyššími náklady na uzavírací zařízení, které by muselo mít daleko větší zdvih. Od této konstrukce bylo ze zmíněných důvodů upuštěno. Po ukončení lisování tak pracovník uvolní tlak v jednočinném hydraulickém válci, odsune závěrnou desku a postupně vyprázdní filtrační komory odsunem desek po jedné.

7.7 Vypadnutí koláče

Vhodným rozmístěním zařízení vypadává filtrační koláč střídavě z obou lisů do jediného místa. Zařízení je navíc konstruováno tak, aby mohl filtrační koláč vypadnout přímo do nádoby. Do prostoru pod filtračními deskami se s dostatečnou vůlí vejde přepravní paleta. S ohledem na tuto vůli by mohlo dojít k vypadnutí části



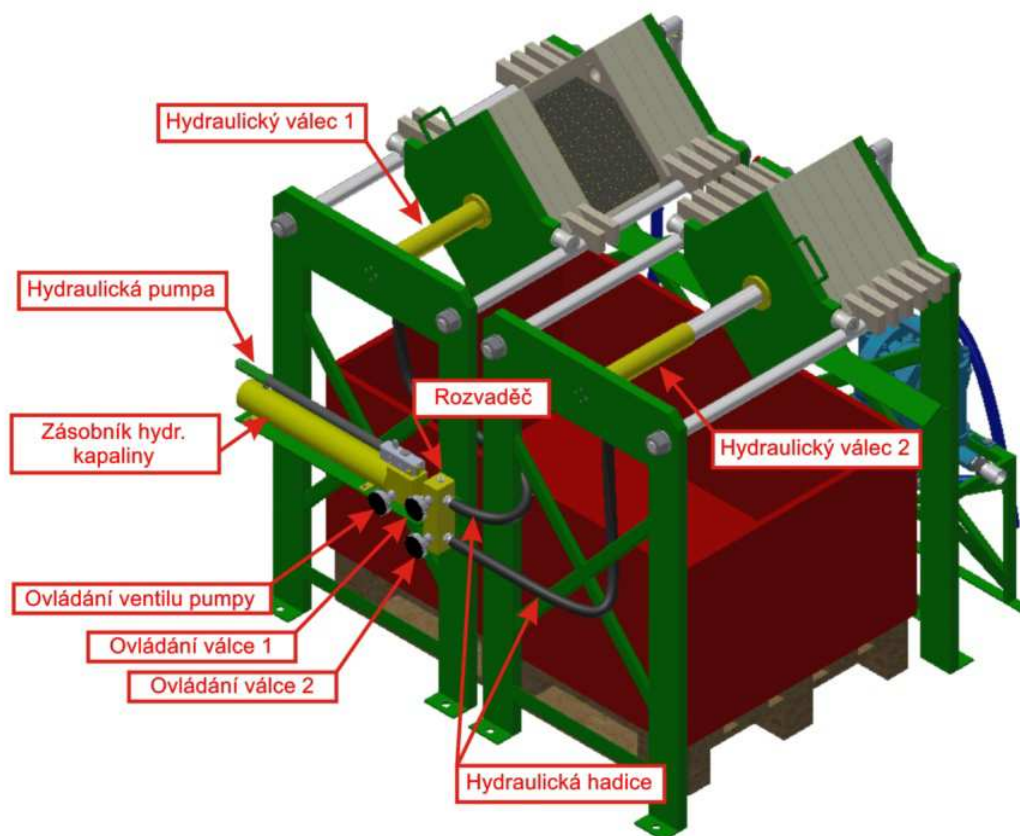
Obr. 44 Vyprázdnění zařízení

filtračního koláče mimo nádobu. Na rámovou konstrukci je s ohledem na tuto skutečnost nainstalován skluz, který tomuto jevu zabrání. Pro lepší názornost jsou na obr. 44 zvýrazněny desky, které se vyprazdňují modrou barvou a desky v kterých probíhá lisování červenou.

7.8 Sestava

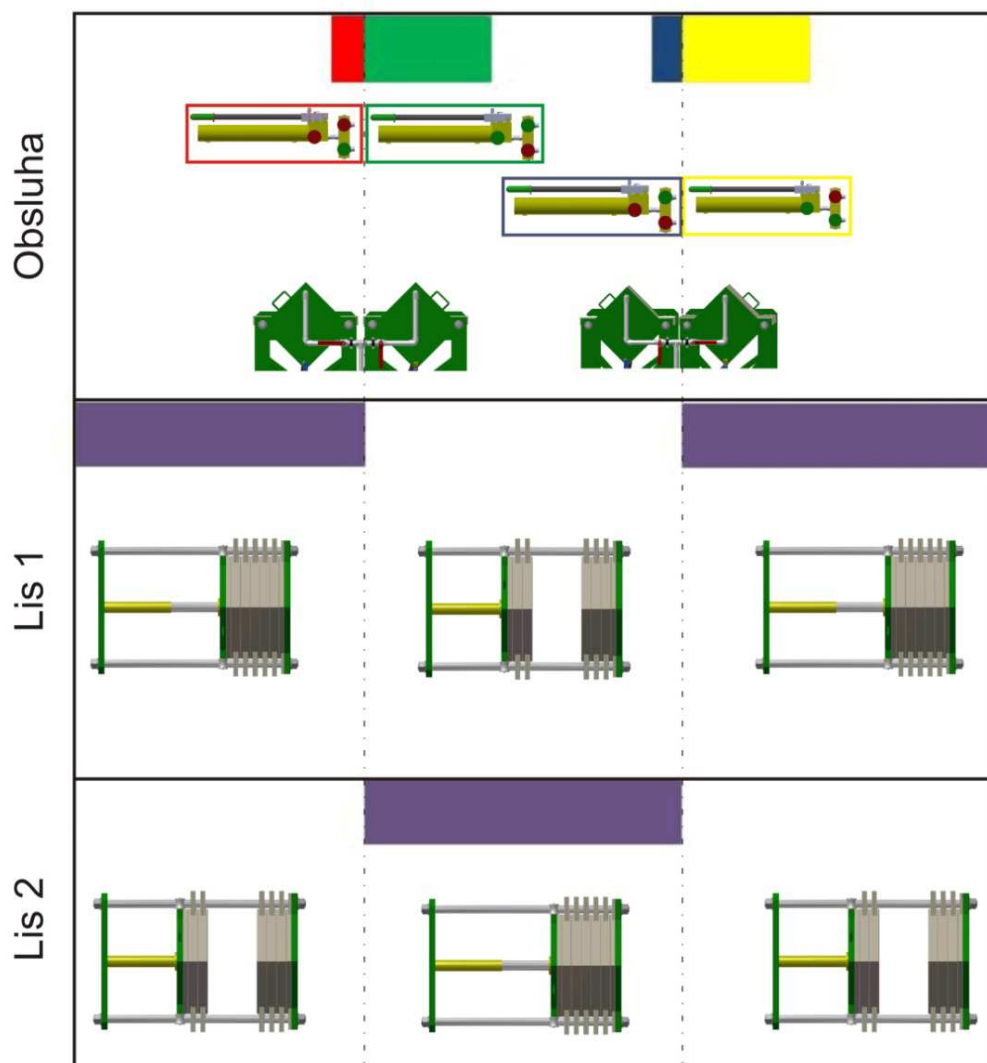
Zařízení je konstruováno tak, aby mohlo být používáno u nádrží. Součásti, z kterých se skládá, jsou z korozi-vzdorné oceli, nebo opatřeny antikorozním nátěrem, případně jsou plastové. V této kapitole objasním celý

princip fungování duálního komorového lisu. Na začátku procesu lisování je třeba uzavřít jeden z lisů hydraulickým uzavíracím systémem (obr. 45).

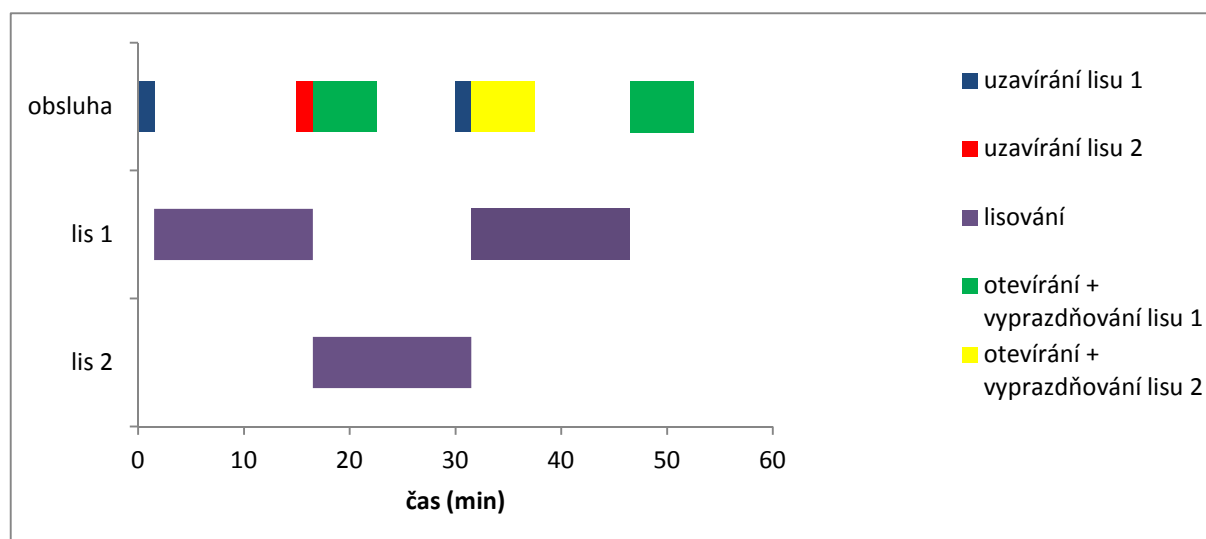


Obr. 45 Uzavírací systém

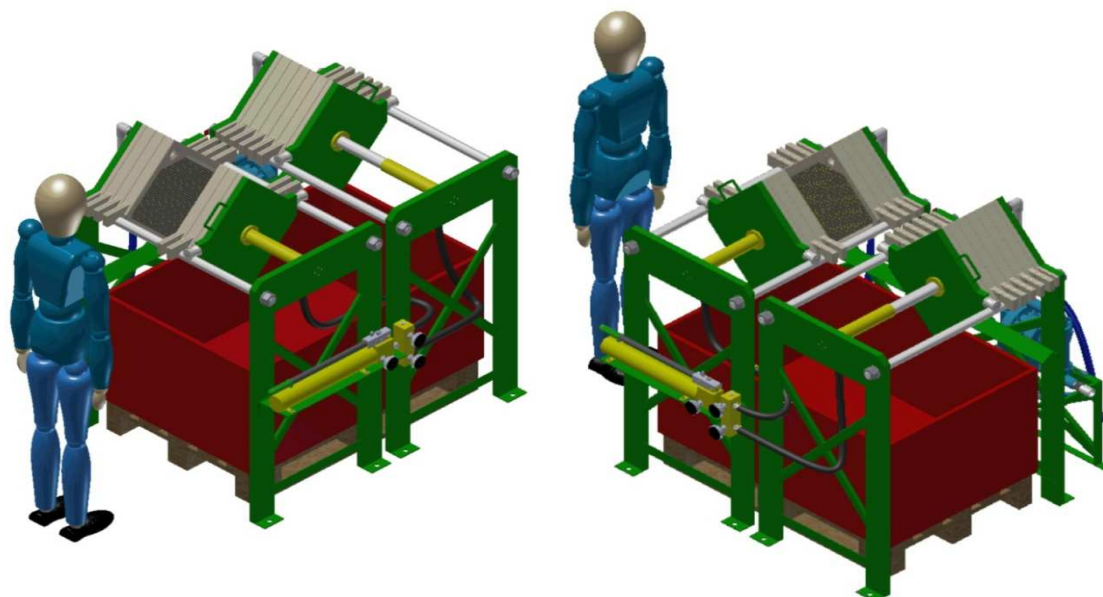
Pracovník uzavře ventil pumpy, čímž zabrání zpětnému proudění hydraulické kapaliny do zásobníku. Dále se pomocí *ovládání válce 1* na rozvaděči otevře vstup pro proudění hydraulické kapaliny do *hydraulického válce 1*. (*ovládání válce 2* – zavřeno), pomocí pumpování hydraulické pumpy se hydraulický válec vysune a lis se tak uzavře. Ještě před tím, než se bude moci zapnout čerpadlo, je třeba pomocí kohoutů na potrubí přívodu suspenze usměrnit její tok do uzavřeného lisu. Následně se zapne čerpadlo, čímž začne samotné lisování v uzavřeném lisu. Čas, po který se lisuje v jednom z lisů, je využit na otevření a vyprazdňování druhého lisu a také na jeho opětovné uzavření. Tuto skutečnost umožňuje rozvaděč, díky kterému je možno ovládat jednotlivě tlaky v obou hydraulických válcích. Jakmile začne filtrace v *lisu 1*, může dojít k otevření *lisu 2*. Nejprve je třeba zajistit, aby *hydraulický válec 1*, který uzavírá *lis 1*, v němž probíhá lisování, zůstal ve své pracovní (vysunuté) poloze. K tomu dojde díky „uzamčení“ tlaku v této větvi pomocí *ovládání válce 1*. Nyní lze uvolnit tlak v lisu 2 pomocí *ovládání válce 2* a *ovládání ventilu pumpy*. Díky tomu dojde k poklesu tlaku ve *válci 2* a jeho zasunutí – hydraulická kapalina putuje z válce do zásobníku hydraulické pumpy. Tento postup se cyklicky opakuje. Čerpadlo zůstává po celou dobu zapnuté a vypne se až při dokončení filtrace, dochází pouze k usměrnění toku suspenze do jednoho z lisů prostřednictvím ventilů, jak již bylo popsáno. Vhodnou synchronizací dvou lisů se stává proces lisování takřka kontinuální. Jediným „mrtvým“ časem je čas pro změnu toku suspenze z jednoho, do druhého lisu. Tento čas má v praxi hodnotu několika málo sekund. V celkovém času lisování ho tedy lze zanedbat. Proces synchronizace je patrný z grafu 1. Pro lepší názornost je jeho střední část zpracována do obr. 46. Tento obrázek sestává z 3 částí, stejně jako graf 1. V části obsluhy jsou naznačeny pohyby ventilů, které musí obsluha zajistit. Otevřený ventil na hydraulické pumpě je znázorněn zelenou barvou. Zavřený ventil červenou. Na potrubí pro dopravu suspenze je otevřený ventil v horizontálním směru a uzavřený ve svislém směru.



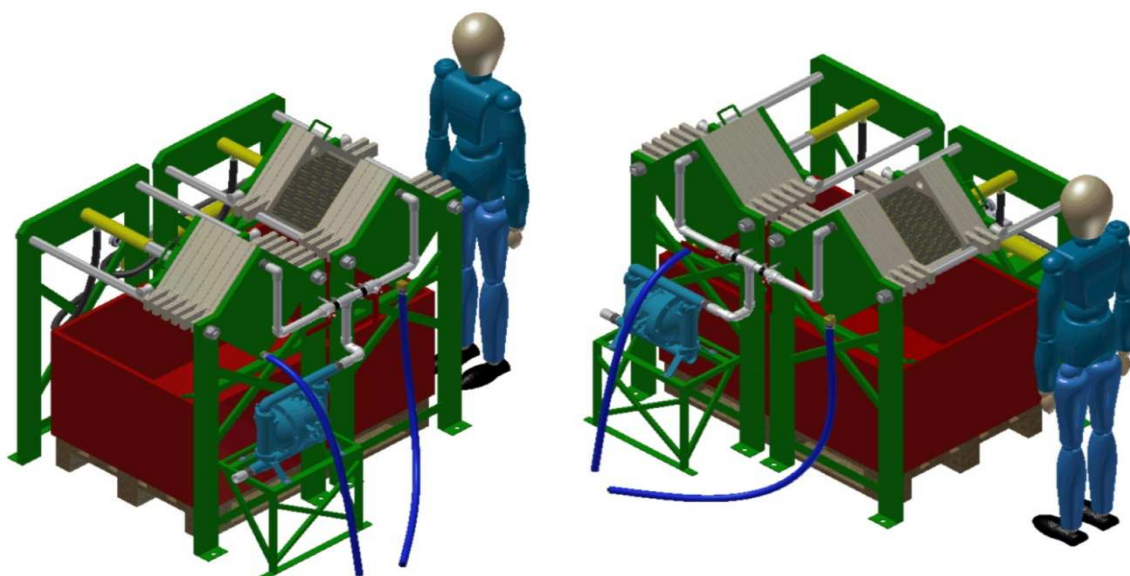
Obr. 46 Princip duálního komorového lisu



Graf 1 Princip duálního komorového lisu



Obr. 47 Sestava - pohled ze strany hydraulického systému



Obr. 48 Sestava - pohled ze strany čerpadla

8 Optimalizace konstrukčního řešení

Pro optimalizaci konstrukčního řešení bylo využito známých metod pro ověření a úpravu navrhnuté konstrukce.

8.1 DFX

Jedná se o zkratku Design for X, kde X označuje oblast působení metod pro detailní konstruování. Cílem DFX metod je vytvoření co možná nejefektivnějšího modelu popisujícího reálný produkční proces. Metody DFX řeší vztah navrhovaných strojních celků s ohledem na jednoduchost, snadnost a rychlost výroby, montáže, demontáže atd. Smyslem metod je snížení pracnosti a námahy v různých fázích

cyklu výrobku. Zejména konstrukční řešení ovlivňuje náklady a cenu výrobku, je tedy třeba brát na tyto metody značný ohled, protože čím nižší náklady, tím vyšší šance úspěchu v tvrdém konkurenčním boji [1].

8.1.1 DFA – Design for Assembly

Tato metoda se zabývá navrhováním součástí s ohledem na jejich snadnou smontovatelnost. Vede tedy k úspoře nákladů na montáž. Mezi zásady této metody patří: nahrazení velkého počtu dílů jedním složitějším; eliminace šroubových spojů; umožnit dobrý přístup ke spojům; vytvářet moduly, které se budou montovat v celku. Pro posouzení náročnosti montáže byla použita metoda LUCAS, podle které se nejprve díly rozdělí do dvou kategorií z hlediska **funkce**.

- Kategorie **A**: podstatné díly z hlediska funkce
- Kategorie **B**: díly nepodstatné, ale nezbytně nutné ke kompletaci

Lucas DFA method - Manual Handling Analysis			Lucas DFA method - Manual Fitting Analysis		
Handling Index = A+B+C+D			Fitting Index = A+B+C+D+E+F		
A. Size & Weight of Part One of the following			A. Part Placing and Fastening One of the following		
Very small - requires tools	1.5		Self-holding orientation	1.0	
Convenient - hands only	1		Requires holding	2.0	
Large and/or heavy requires more than 1 hand	1.5		<i>Plus 1 of the following</i>		
Large and/or heavy requires hoist or 2 people	3		Self-securing (i.e. snaps)	1.3	
			Screwing	4.0	
			Riveting	4.0	
			Bending	4.0	
C. Orientation of Part One of the following:			B. Process Direction One of the following		
Symmetrical, no orientation req'd	0		Straight line from above	0	
End to end, easy to see	0.1		Straight line not from above	0.1	
End to end, not visible	0.5		Not a straight line	1.6	
			C. Insertion One of the following		
			Single	0	
			Multiple insertions	0.7	
			Simultaneous multiple insertions	1.2	
B. Handling difficulties All that apply			D. Access and/or Vision One of the following		
Delicate	0.4		Direct	0	
Flexible	0.6		Restricted	1.5	
Sticky	0.5				
Tangible	0.8				
Severely nest	0.7				
Sharp/Abrasive	0.3				
Untouchable	0.5				
Gripping problem / slippery	0.2				
No handling difficulties	0				
D. Rotational Orientation of Part One of the following			E. Alignment One of the following		
Rotational Symmetry	0		Easy to align	0	
Rotational Orientation, easy to see	0.2		Difficult to align	0.7	
Rotational Orientation, hard to see	0.4				
			F. Insertion Force One of the following		
			No resistance to insertion	0	
			Resistance to insertion	0.6	

Tab. 9 Montážní index (vlevo), spojovací index (vpravo) [23]

Následuje **montážní** analýza, kde se každému dílu přiřadí koeficient (Handling Index), který vyjadřuje náročnost přípravy dílů k montáži. Složitost **spojovacích** operací je také vyjádřena koeficientem (Fitting Index) tab. 10. Koeficienty se spočítají dle tab. 9. Výhodnější je výroba tvarově složitějších dílů s integrovanými spoji [1].

$$\text{Efektivnost návrhu sestavy} = \frac{\sum A}{\sum A+B} * 100 \quad (2)$$

$$\text{Poměr pomocných operací} = \frac{\sum M}{\sum A} \quad (3)$$

$$\text{Poměr spojovacích operací} = \frac{\sum S}{\sum A} \quad (4)$$

Název	Počet	Funkční analýza	Montážní analýza	Spojovací operace
Rám filtrační desky	20	A	1,3	1,0
Odvodňovací deska	10	A	1,3	1,0
Filtrační plachetka	20	A	1,3	1,0
Čep 12x27 ISO 2341	20	B	1,1	1,0
Pojistný kroužek DIN	24	B	1,2	1,6
Hlavová deska	2	A	1,0	2,1
Šroub se zápusťnou	16	B	1,1	5,4
Koncová deska	2	A	1,0	2,1
Vedení	4	A	1,0	6,8
Podložka ISO 7089 33	4	B	1,0	1,1
Matice ISO 4034 M33	4	B	1,0	5,4
Uzavírací deska	2	A	1,6	1,0
Kolečko	4	A	1,1	0,1
Čep 12x65 ISO 2341	4	B	1,1	6,7
Svařovaný rám přední	2	A	1,8	2,8
Konzola hydr. pumpa	1	A	1,2	3,5
Šroub ISO 4018 M8x50	2	B	1,1	6,1
Podložka ISO 7089 8	4	B	1,0	1,1
Matice ISO 4034 M8	2	B	1,0	5,4
Svařovaný rám koncový	2	A	1,8	2,8
Konzola čerpadlo	1	A	1,3	4,3
Šroub ISO 4018 M8x25	2	B	1,1	6,1
Podložka ISO 7089 8	2	B	1,0	1,1
Matice ISO 4034 M8	2	B	1,0	5,4
Skluz	2	A	1,2	3,5
Šroub ISO 4018 M6x40	4	B	1,1	6,1
Podložka ISO 7089 6	8	B	1,0	1,1
Matice ISO 4034 M6	4	B	1,0	5,4
Hadicový násadec	1	B	1,1	6,1
Hadicový násadec 90°	1	B	1,1	6,1
Hadicová spona	2	B	1,3	2,7
Hadice	2	A	1,6	2,7
Hydraulický válec	2	A	1,7	3,5
Šroub se zápusťnou	4	B	1,1	5,4
Šroub se zápusťnou	4	B	1,1	5,4
Hydraulická pumpa s	1	A	1,8	1,0
Šroub ISO 4018 M6x30	4	B	1,1	6,1
Matice ISO 4032 M6	4	B	1,0	5,4
Podložka ISO 7089 6	8	B	1,0	1,1
Hydraulická hadice	2	A	1,0	6,1
Čerpadlo	1	A	1,8	1,0
Šroub ISO 4018 M8x20	4	B	1,1	6,1
Podložka ISO 7089 8	8	B	1,0	1,1
Matice ISO 4032 M8	4	B	1,0	5,4
Šroubení vnější	3	B	1,5	6,1
Koleno 90°	6	A	1,2	6,0
Potrubí 282 mm	2	A	1,0	6,0
Potrubí 200 mm	2	A	1,0	6,0
Kohout kulový	2	A	1,5	6,0
Objímka kovová	2	B	1,2	6,1
Potrubí 89 mm	2	A	1,0	6,0
T-kus	1	A	1,2	6,0
Potrubí 191 mm	1	A	1,0	6,0
Potrubí 41 mm	1	A	1,0	6,0
Potrubí 63 mm	1	A	1,0	6,0
Nátrubek	2	A	1,0	6,0
Σ A + B		Σ A	Σ M	Σ S
251		100	292,2	766,5

Název	Počet	Funkční analýza	Montážní analýza	Spojovací operace
Rám filtrační desky	20	A	1,3	1,0
Odvodňovací deska	10	A	1,3	1,0
Filtrační plachetka	20	A	1,3	1,0
Pojistný kroužek DIN 6799	24	B	1,2	1,6
Hlavová deska	2	A	1,0	2,1
Šroub ISO 4762 M6x30	8	B	1,1	5,4
Koncová deska	2	A	1,0	2,1
Vedení	4	A	1,0	6,8
Podložka ISO 7089 33	4	B	1,0	1,1
Matice ISO 4034 M33	4	B	1,0	5,4
Uzavírací deska	2	A	1,6	1,0
Kolečko	4	A	1,1	0,1
Čep 12x65 ISO 2341	4	B	1,1	6,7
Svařovaný rám přední	2	A	1,8	2,8
Svařovaný rám koncový	2	A	1,8	2,8
Konzola čerpadlo	1	A	1,3	4,3
Hadicový násadec	1	B	1,1	6,1
Hadicový násadec 90°	1	B	1,1	6,1
Hadicová spona	2	B	1,3	2,7
Hadice	2	A	1,6	2,7
Hydraulický válec	2	A	1,7	3,5
Šroub ISO 4762 M6x20	4	B	1,1	5,4
Šroub ISO 4762 M6x40	4	B	1,1	5,4
Hydraulická pumpa	1	A	1,8	1,0
Šroub ISO 4018 M6x16	4	B	1,1	6,1
Podložka ISO 7089 6	4	B	1,0	1,1
Hydraulická hadice	2	A	1,0	6,1
Čerpadlo	1	A	1,8	1,0
Šroub ISO 4018 M8x16	4	B	1,1	6,1
Podložka ISO 7089 8	4	B	1,0	1,1
Šroubení vnější	3	B	1,5	6,1
Koleno 90°	6	A	1,2	6,0
Potrubí 282 mm	2	A	1,0	6,0
Potrubí 200 mm	2	A	1,0	6,0
Kohout kulový	2	A	1,5	6,0
Objímka kovová	2	B	1,2	6,1
Potrubí 89 mm	2	A	1,0	6,0
T-kus	1	A	1,2	6,0
Potrubí 191 mm	1	A	1,0	6,0
Potrubí 41 mm	1	A	1,0	6,0
Potrubí 63 mm	1	A	1,0	6,0
Nátrubek	2	B	1,0	6,0
Σ A + B		Σ A	Σ M	Σ S
174		95	211	533,4

Tab. 10 Stav PŘED použitím metody DFA (vlevo), stav PO použití metody DFA (vpravo)

Stav PŘED:

Efektivnost návrhu sestavy: **39 %**

Poměr pomocných operací: **3**

Poměr spojovacích operací: **7,8**

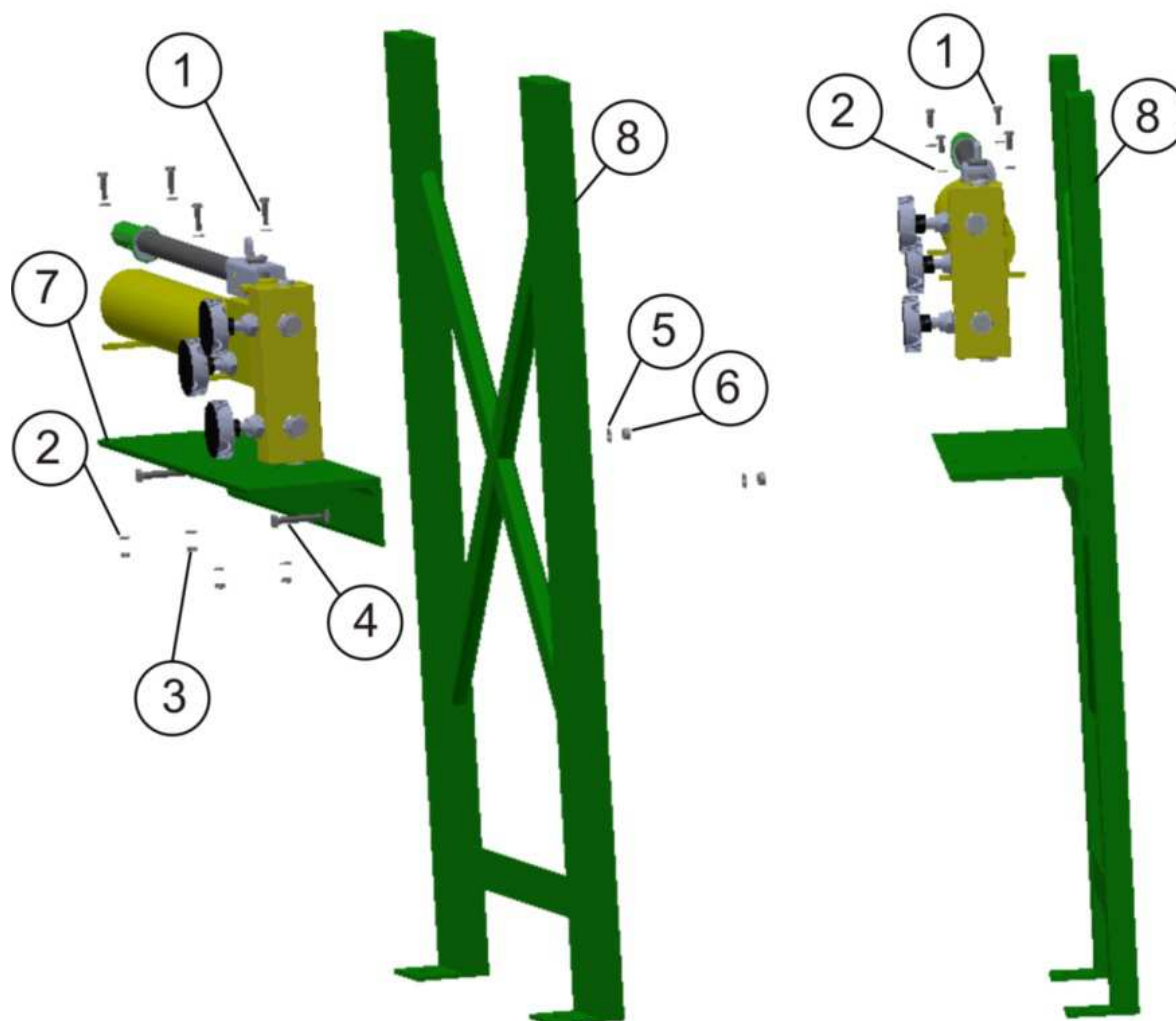
Aplikací metody DFA došlo ke snížení počtu dílů sestavy o 77 ks, čímž se také snížil poměr pomocných a spojovacích operací.

Stav PO:

Efektivnost návrhu sestavy: **54,6 %**

Poměr pomocných operací: **2,2**

Poměr spojovacích operací: **5,6**



Obr. 49 Před DFA (vlevo), Po DFA (vpravo)

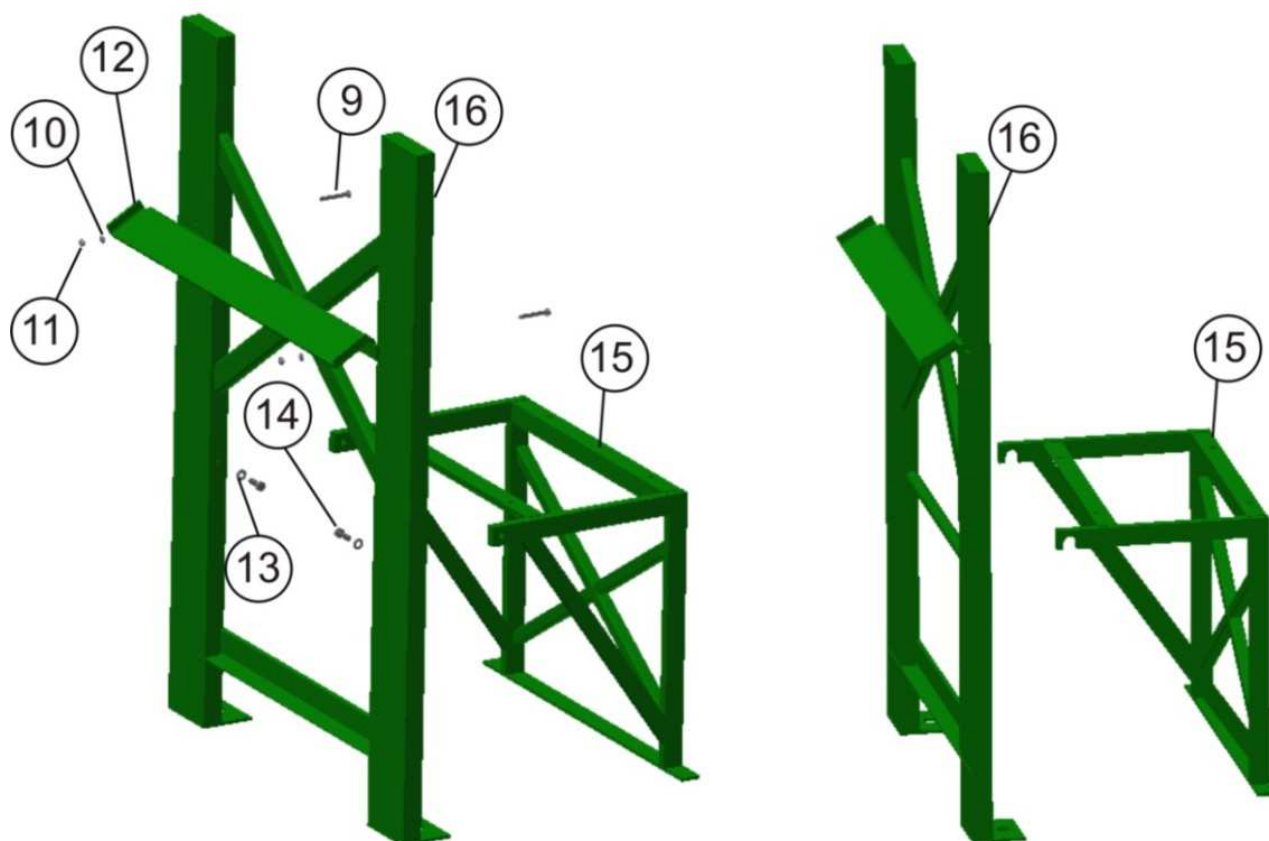
PŘED

Název	Umístění	Počet
Šroub ISO 4018 M6x25	1	4
Podložka ISO 7089 6	2	8
Matice ISO 4032 M6	3	4
Šroub ISO 4018 M8x50	4	2
Podložka ISO 7089 8	3	4
Matice ISO 4034 M8	6	2
Konzola hydraulické pumpy	7	1
Svařovaný rám přední	8	1

PO

Název	Umístění	Počet
Šroub ISO 4018 M6x16	1	4
Podložka ISO 7089 6	2	4
Svařovaný rám přední	8	4

Tab. 11 Seznam dílů k obr. 49



Obr. 50 Před DFA (vlevo), Po DFA (vpravo)

PŘED

Název	Umístění	Počet
Šroub ISO 4018 M6x40	9	2
Podložka ISO 7089 6	10	4
Matice ISO 4034 M6	11	2
Skluz	12	1
Podložka ISO 7089 8	13	4
Šroub ISO 4018 M8x25	14	2
Konzola čerpadla	15	1
Svařovaný rám koncový	16	1

PO

Název	Umístění	Počet
Konzola čerpadla	15	1
Svařovaný rám koncový	16	1

Tab. 13 Seznam dílů k obr. 50

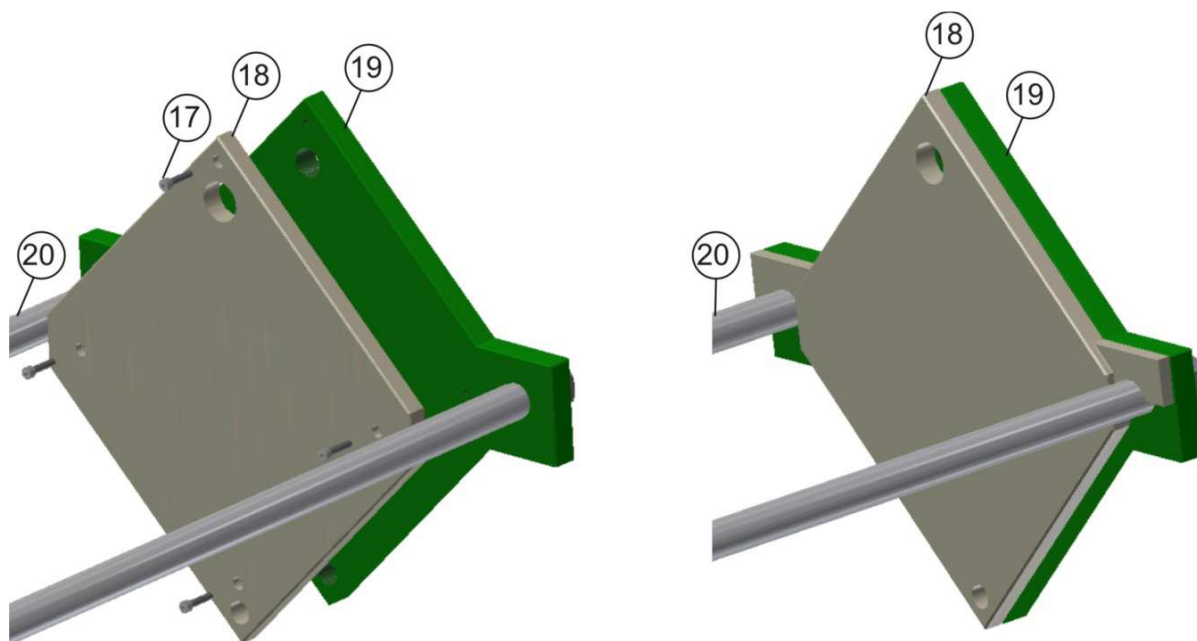
PŘED

Název	Umístění	Počet
Šroub ISO 4762 M6x25	17	4
Koncová deska	18	1
Rám	19	1
Vedení	20	2

PO

Název	Umístění	Počet
Koncová deska	18	1
Rám	19	1
Vedení	20	2

Tab. 12 Seznam dílů k obr. 51



Obr. 51 Před DFA (vlevo), Po DFA (vpravo)

Pro zlepšení sledovaných parametrů byly díly spojované šroubovými spoji na rámové konstrukci nahrazeny spoji svařovanými, čímž vznikl modul – svařovaný rám přední a svařovaný rám zadní (obr. 49 a 50). Šroubové spoje, jenž spojovaly konzolu čerpadla s koncovým svařovaným rámem, byly nahrazeny tvarovou vazbou (obr. 50). Tam, kde to bylo možné (uchycení hydraulické pumpy a čerpadla ke konzole), převzal funkci matice díl sestavy, ve kterém byl zhotoven závit pro příslušný šroub (obr. 49). Šrouby, které spojovaly koncovou desku s rámem, byly nahrazeny tvarovou vazbou, díky které je koncová deska nesena vedením, stejně jako v případě desek komorových (obr. 51). Pro každý obrázek rozpadu dílů před a po použití metody DFA, jsou seznamy dílů zpracovány do příslušné tabulky.

8.1.2 DFM – Design for Manufacturing

Dodržováním základních principů této metody lze dosáhnout nízkých výrobních nákladů. Mezi tyto principy patří:

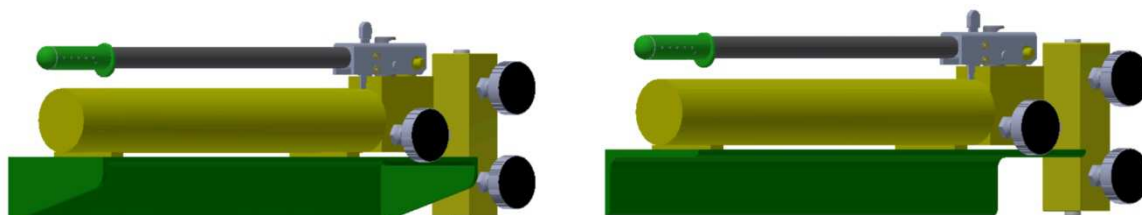
- **Jednoduchost** – použití malého počtu jednoduchých dílů, nepoužívat komplikované a složité tvary, čímž se zajistí jednoduchá servisovatelnost.
- **Standardní materiály a komponenty** – používat materiály a komponenty s širokým uplatněním, které jsou snadno dostupné.
- **Standardizovaný návrh konstrukce výrobku** – stejné komponenty použít pro různé typové řady výrobků.

- **Volné tolerování** – použití netolerovaných rozměrů, ovšem i tyto rozměry musí být v určité toleranci dle normy. Čím bude vyšší přesnost rozměrů předepsána na výkrese, tím bude vyšší cena vyráběných dílů [1].

Na tyto principy bylo pamatováno při navrhování zařízení.

Příklad použití metody DFM:

Svařovaná konzola, jež nese hydraulickou pumpu, byla nahrazena konzolou, na kterou byl použit standardní polotovar (profil „L“) (obr. 52).



Obr. 52 Svařovaná konzola (vlevo), konzola „L profil“ (vpravo)

Zhodnocení stavu PŘED a PO aplikaci metody DFM v tab. 14.

PŘED		PO	
Polotovar:	Plech 8 mm	Polotovar:	ISO 657-2 (150x75x9)
Počet dílů:	4 ks	Počet dílů:	1 ks
Technologie:	Řezání laserem Svařování	Technologie:	Řezání pilou

Tab. 14 Zhodnocení stavu

8.1.3 DFD - Design for Disassembly

Tato metoda je zaměřena na snadnou demontovatelnost jednotlivých dílů sestavy. To umožňuje jednak dobrou servisovatelnost a také recyklovatelnost dílů na konci jejich životního cyklu. Zde dochází k jistým protichůdným požadavkům, než jsou v metodě DFA. Je tedy nutno zvolit rozumný kompromis.

Mezi základní požadavky této metody na konstrukci patří [1]:

- snadné oddělení dílů bez jejich zničení

Všechny stěžejní díly jsou snadno demontovatelné.

- zajistit snadné čištění bez negativního vlivu čisticího prostředku na životní prostředí

Celé zařízení lze čistit pouze vodou. Pro snadné čištění jsou komorové desky v případě potřeby snadno rozebíratelné.

- zajistit snadnou repasi doplněním opotřebovaných materiálů

Filtrační plachetku lze měnit samostatně na každé straně filtrační desky. Případná výměna komorové desky je velmi jednoduchá.

- zajistit snadné testování repasovaných dílů

V konstrukci není třeba počítat s repasí dílů. Díly, které nesplňují svoji funkci, se recyklují a nahrazují novými.

- zajistit snadnou zpětnou montáž repasovaných dílů
- používat v konstrukci díly, které lze snadno recyklovat

Navrženými materiály jsou ocel a plasty, které lze snadno recyklovat.

- konstruovat tak, aby bylo možné třídění kovů do skupin zvyšujících cenu odpadu

Použité ocelové díly jsou demontovatelné tak, aby je bylo možné roztrždit do příslušných recyklovatelných tříd kovů.

- zajistit snadné oddělení dílů z umělých hmot, které je možné recyklovat.

Díly z plastu jsou zkonstruovány tak, aby je bylo možné demontovat a následně recyklovat.

- zavádění lomových bodů pro snadnější demontáž


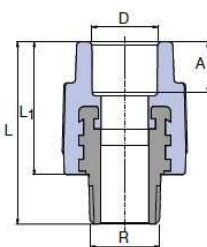
Není třeba zavádět lomové body pro snadnější demontáž. Demontovatelnost dílů je dostatečná.

- nepoužívat svařované, nýtované a lepené spoje

Tomuto požadavku se dostat nepodařilo. Nicméně ocelová konstrukce je svařována do malých celků, které lze snadno recyklovat. Svařované potrubí pro dopravu kalu lze od zařízení demontovat pomocí převlečných matic na potrubí. Samotné potrubí lze v případě recyklace snadno rozřezat.

Příklad použití metody DFD:


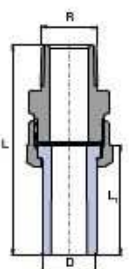
Pro napojení potrubí k lisu byla nahrazena „přechodka s kovovým závitem“ obr. 53 za „šroubení vnější“ obr. 54. Po navaření potrubí by se totiž z „přechodky“ stal nerozebíratelný spoj, byla tedy nahrazena spojem rozebíratelným, což umožní demontovat potrubí bez jeho poškození.

D mm	R	A mm	L mm	L ₁ mm	KÓD	I.	II.	kg/ks
16	1/2"	13,0	52,0	37,5	SZE01620XX	10	50	0,064
20	1/2"	14,5	53,5	39,0	SZE02020XX	10	150	0,062
20	3/4"	14,5	58,0	40,0	SZE02025XX	10	100	0,096
25	1/2"	16,0	55,5	41,0	SZE02520XX	10	60	0,066
25	3/4"	16,0	59,0	41,0	SZE02525XX	20	100	0,098
32	3/4"	18,0	60,0	44,0	SZE03225XX	10	30	0,105
32	1"	18,0	62,5	46,0	SZE03232XX	10	60	0,170
*32	1"	18,0	69,5	42,0	SZE03232OK	10	60	0,204
*40	5/4"	20,5	80,0	48,0	SZE04040XX	5	10	0,312
*50	6/4"	23,5	81,6	54,0	SZE05050XX	4		0,460
*63	2"	27,5	101,0	63,5	SZE06363XX	2		0,758
*75	2 1/2"	30,0	110,0	69,7	SZE07575XX	1		1,150
*90	3"	33,0	130,0	85,0	SZE09090XX	1		1,774

* s osmihranem (8)

Obr. 53 Přechodka [20]

D mm	R	L mm	L ₁ mm	KÓD	I.	II.	kg/ks
20	1/2"	77,0	40,0	SSE02020XX	10	100	0,118
25	3/4"	80,0	40,0	SSE02525XX	10	50	0,196
32	1"	92,0	45,0	SSE03232XX	10	40	0,324

Obr. 54 Šroubení [20]

8.2 FMEA

FMEA je zkratkou pro anglický výraz - Failure Mode and Effects Analysis. To v překladu znamená - „Metoda pro zjišťování možných chyb a jejich důsledků“. Byla vyvinuta v šedesátých letech agenturou NASA pro projekt Apollo. FMEA návrhů výrobku se používá jak pro nové, tak pro inovované výrobky. Důležité je tuto metodu začít používat již ve fázi koncepce návrhů řešení. Zásadou FMEA je, že je lepší zabránit vzniku vad včas, než je následně odhalovat a odstraňovat, což by znamenalo daleko vyšší náklady. Nejekonomičtější forma redukce nákladů je totiž prevence. Jde především o vyloučení rizika a plánování příslušných opatření k zajištění spokojenosti zákazníka.

FMEA při návrhu výrobku probíhá ve třech fázích:

- analýza současného stavu a jeho hodnocení.
- návrh opatření pro eliminaci vad.
- hodnocení stavu po zavedení navržených opatření.

Hodnocení stavu se zaměřuje na tři hlediska, kterými jsou: význam vady, očekávaný výskyt a možnost odhalení vady. Těmto hlediskům se přidělují trestné body v rozmezí 1-10. Roznásobením těchto tří hledisek dostaneme rizikové číslo (RPZ)[1].

$$RPZ = \text{Význam} \times \text{Výskyt} \times \text{Odhalitelnost} \quad (5)$$

FMEA analýza byla zaznamenávána do příslušného formuláře průběžně. Kritická hodnota rizikového čísla byla stanovena na 130. Pokud nějaká vada přesáhla tuto hodnotu, bylo navrženo vhodné opatření. Formulář je přiložen v tištěné podobě - **Příloha č.3: Metoda FMEA.**

8.3 Výpočtová část

8.3.1 Vstupní hodnoty

Pro přibližné výpočty lze vycházet z obecných průměrných předpokladů. Z 1 m³ kyselé vody je po neutralizaci a zahuštění přibližně 1/3 objemu suspenze k lisování. Z tohoto objemu činí po vylisování zhruba 10% filtrační koláč a zbytek je filtrát (přefiltrovaná kapalina). Vše je závislé na kyselosti oplachové vody. Po matování, nebo leptání skel má voda odlišnou kyselost a je tedy třeba na neutralizaci odlišné množství vápenného mléka. Další vliv na charakter suspenze k filtrování má množství přidaného flokulantu. Cena odpadu je 6,- Kč/kg. Týdenní bilance vypočítána v programu MS Excel je uvedena v Tab. 15. Zde jsou patrné ceny odpadu před vylisováním (cena suspenze 2108,- Kč/týden) a po vylisování (filtrační koláč 308,- Kč/týden), při týdenní produkci 1 m³ kyselé vody.

1 týden	objem (m ³)	hustota (kg · m ⁻³)	hmotnost (kg)	cena odpadu (Kč)
oplachová voda	1,00			
suspenze	0,33		351,33	2108,00
filtrační koláč	0,03	1540,00	51,33	308,00
přefiltrovaná voda	0,30	1000,00	300,00	
			úspora	1800,00

Tab. 15 Týdenní bilance

8.3.2 Parametry navrhnutého zařízení

Objem jedné komory:

Jedna komora vznikne po přisunutí dvou desek, její objem byl odvozen z modelu v programu Inventor a má hodnotu $V = 2,02 \text{ dm}^3 = 2,02 \text{ l} = 0,00202 \text{ m}^3$.

Hmotnost filtračního koláče z jedné komory:

Hustota koláče $\rho = 1540 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$m = \rho \cdot V = 1540 \cdot 0,00202 = 3,1108 \text{ kg} \quad (6)$$

Objem jednoho lisu/šarže: $0,01212 \text{ m}^3$

Pro výpočet času potřebného k vylisování suspenze byla v MS Excel sestavena výpočtová tabulka (Tab. 16), která uvádí měsíční bilanci. Jedná se o přibližný teoretický výpočet. Jak již bylo zmíněno, tak suspenze k lisování má značně proměnlivý charakter, který je závislý na mnoha okolnostech a samozřejmě se projeví na době filtrace a také na hustotě filtračního koláče, což do výpočtu vnáší další proměnné. Čas lisování jednoho z lisů byl tedy odhadnut na základě konzultace s výrobcem komorových lisů. Pro přibližnou představu bylo pracováno s průměrnou teoretickou hodnotou 15 minut. Stejně tak byl odhadnut i čas práce obsluhy (otevření, vyprázdnění a znovu uzavření lisu) na 7,5 minuty. Pro přesnější výpočty by bylo třeba změřit časy za chodu zařízení.

Počet cyklů = objem filtračního koláče / objem lisu

1 cyklus = čas lisování 1 z lisů

Celkový čas = počet cyklů * čas lisování 1 z lisů + čas na první zavření lisu + čas na poslední otevření a vyprázdnění lisu

Ve výpočtu celkového času je s ohledem na přibližný výpočet zanedbán čas na změnu směru toku suspenze do jednoho či druhého lisu. Tento zanedbaný čas je v řádu několika málo sekund. Potřebný čas lisování v jednom měsíci je při týdenní produkci 1 m^3 kyselé vody za týden kolem 3h. I za předpokladu, že by byl výpočet příliš optimistický a v praxi by lisování trvalo déle, tak by nemělo překročit 1 pracovní den (8h). I tato hodnota se v rámci jednoho měsíce jeví jako velmi příznivá.

1 měsíc	objem (m^3)	duální kalolis				
oplachová voda	4,00	počet lisů	2	ks		
suspenze	1,33	počet komor lisu	6	ks		
filtrační koláč	0,13	objem lisu	0,01212	m^3	počet cyklů	11,00
přefiltrovaná voda	1,20	čas lisování 1 lisu	15	min	celkový čas (h)	2,86

Tab. 16 Měsíční bilance

8.3.3 Namáhání a pevnostní kontrola [23].

Stěžejní nosná část celého zařízení („vedení“), je zatížena tahovou silou F5, která je důsledkem uzavírací síly hydraulického zařízení. Zařízení se skládá z dvou kusů vedení. Velikost síly F5 se tedy rovná $\frac{1}{2}$ uzavírací síly. Dále je součástí zatížena

ohybem a smykem, které způsobuje hmotnost součástí (včetně náplní) umístěných na vedení v důsledku gravitační síly. Tyto síly mají tedy velikost $F = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g$. Výpočet je proveden pro maximální namáhání součástí, tedy v době plného uzavřeného lisu.

$a = 12 \text{ mm}$ $F5 = 50\,000 \text{ N}$

$b = 36 \text{ mm}$ $F4 = 186,9 \text{ N}$

$c = 48 \text{ mm}$ $F3 = 16,75 \text{ N}$

$d = 27 \text{ mm}$ $F2 = 46 \text{ N}$

$e = 587 \text{ mm}$ $F1 = 17 \text{ N}$

$f = 890 \text{ mm}$ $\sum F = 450,65 \text{ N}$

průměr vedení (kruhový průřez) v místě osazení: $d_v = \underline{\underline{35 \text{ mm}}}$

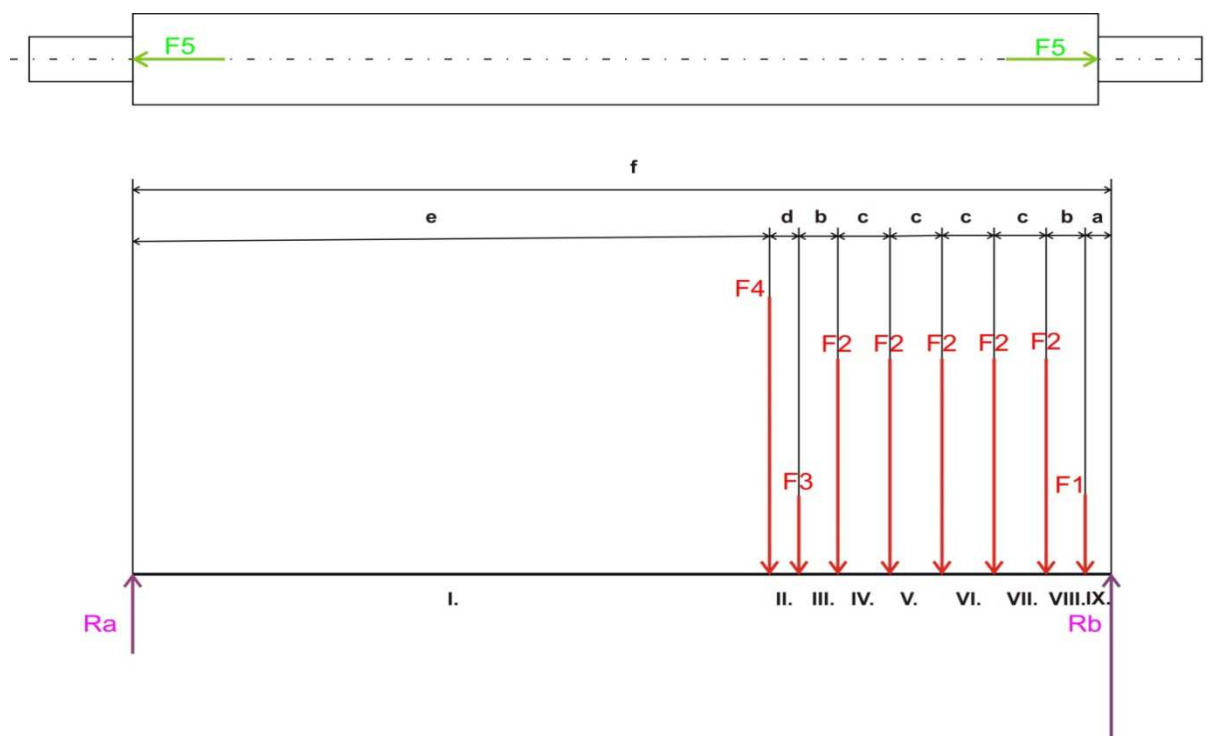
Výpočet reakčních účinků R_a a R_b v místě uložení provedeme pomocí rovnovážných podmínek z obr. 55:

$$R_a + R_b - \sum F = 0 \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 &F4 \cdot e + F3 \cdot (e + d) + F2 \cdot (e + d + b) + F2 \cdot (e + d + b + c) + F2 \cdot (e + d + b + 2c) \\
 &+ F2 \cdot (e + d + b + 3c) + F2 \cdot (e + d + b + 4c) + F1 \cdot (e + 2d + b + 4c) - R_b \cdot f = 0
 \end{aligned} \quad (8)$$

Po úpravách a dosazení do rovnice (10) dostáváme reakci v místě B: $R_b = \underline{\underline{344,4 \text{ N}}}$

Po dosazení do rovnice (9) získáme reakci v místě A: $R_a = \underline{\underline{106,25 \text{ N}}}$

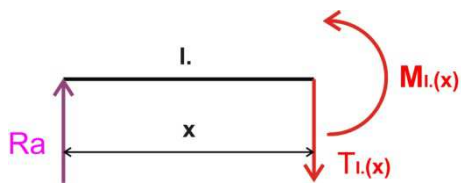


Obr. 55 Zatěžující síly

Maximální ohybový moment a smyková síla byly zjištěny pomocí metody myšlených řezů (I. až IX.) – vnitřních statických účinků.

Maximální ohybový moment se nachází mezi oblastí I. a II.

I. $x \in (0; e)$



Obr. 56 VSU-I.

$$R_a - T_{I.}(x) = 0$$

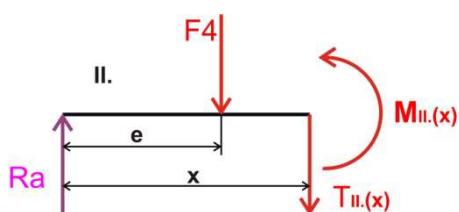
$$T_{I.}(x) = R_a = 106,25 \text{ N}$$

$$M_{I.}(x) - R_a \cdot x = 0 \rightarrow M_{I.}(x) = R_a \cdot x$$

$$M_{I.}(0) = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{I.}(e) = 62,4 \text{ Nm} = M_{Omax}$$

II. $x \in (e; e+d)$



Obr. 57 VSU – II.

$$R_a - F_4 - T_{II.}(x) = 0$$

$$T_{II.}(x) = R_a - F_4 = -80,9 \text{ N}$$

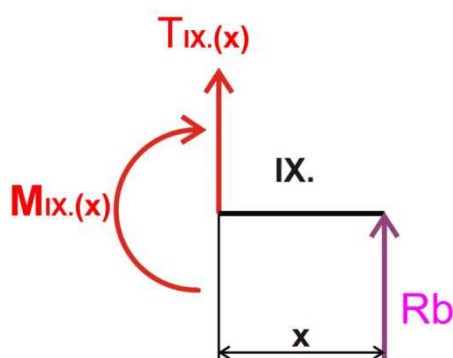
$$M_{II.}(x) - R_a \cdot x + F_4 \cdot (x - e) = 0$$

$$M_{II.}(x) = R_a \cdot x - (F_4 \cdot (x - e))$$

$$M_{II.}(e) = 62,4 \text{ Nm} \quad M_{II.}(e+d) = 60,04 \text{ Nm}$$

Maximální smyková síla se nachází v oblasti IX.

IX. $x \in (0; a)$



Obr. 58 VSU - IX.

$$R_b + T_{IX.}(x) = 0$$

$$T_{IX.}(x) = -R_b = 344,4 \text{ N} = T_{max}$$

$$M_{IX.}(x) - R_b \cdot x = 0 \rightarrow M_{IX.}(x) = R_b \cdot x$$

$$M_{IX.}(0) = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{IX.}(a) = 4,1 \text{ Nm}$$

Materiál: ocel 17 024; Mez pevnosti: $R_m = 750 \text{ Mpa}$; Mez kluzu: $R_e = 490 \text{ Mpa}$

Tahové napětí:

$$\sigma_t = \frac{F_5}{S} = \frac{F_5}{\frac{\pi \cdot d_p^2}{4}} = 39,8 \text{ Mpa} \quad (9)$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot d_v^3}{32}} = 14,8 \text{ Mpa} \quad (10)$$

Smykové napětí:

$$\tau_s = \frac{T}{S} = \frac{T}{\frac{\pi \cdot d_v^2}{4}} = 0,27 \text{ Mpa} \quad (11)$$

Ekvivalentní napětí:

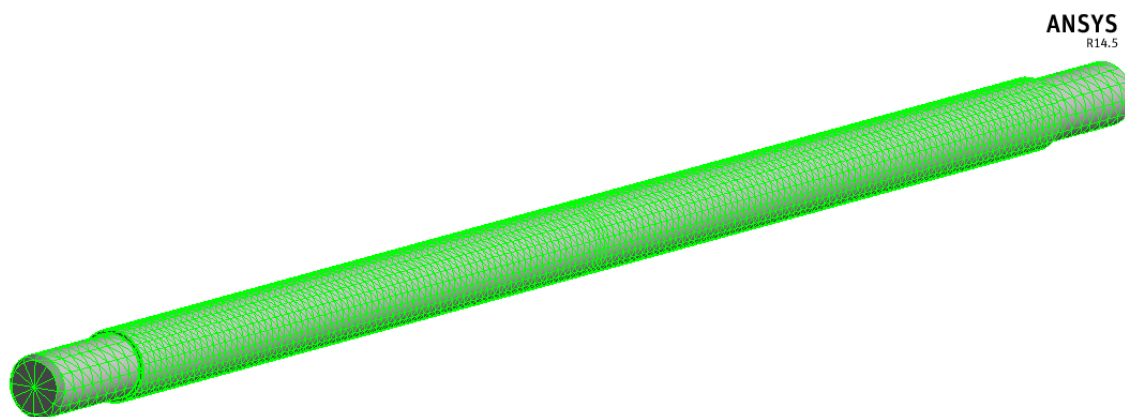
$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_o)^2 + 3\tau^2} = 49,7 \text{ Mpa} \quad (12)$$

Bezpečnost:

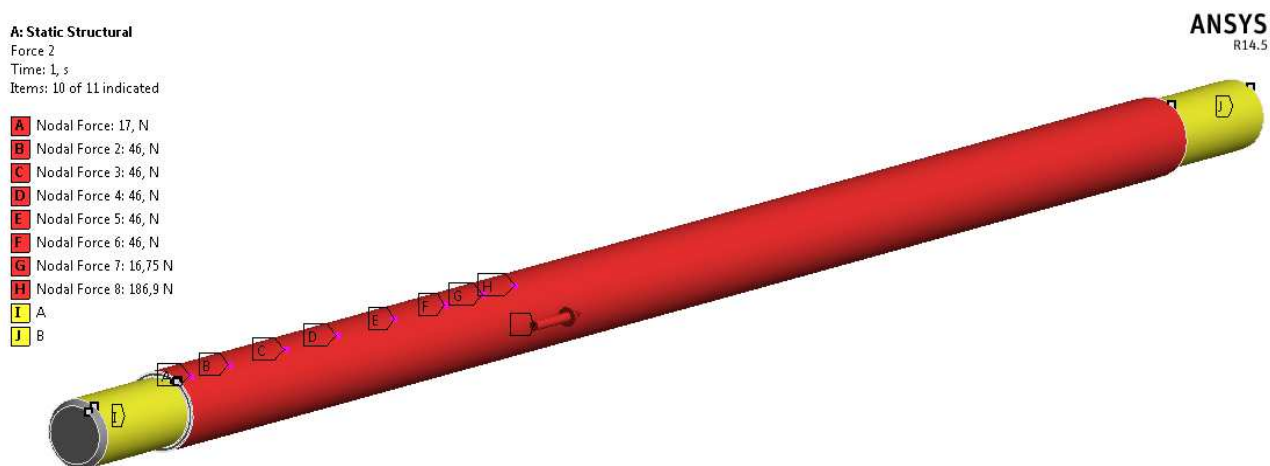
$$k = \frac{\sigma_D}{\sigma_e} = 9,86 \quad (13)$$

Součást vyhovuje daným podmínkám s bezpečností 9,86. Může se jevit na první pohled jako zbytečně předimenzovaná, zvolený průměr bere ohled především na bezpečnost šroubového spoje, na který působí značné tahové namáhání a má hodnotu 2,5.

Pro ucelenou pevnostní kontrolu stěžejní nosné části celého zařízení (vedení) byla provedena numerická simulace prostřednictvím metody konečných prvků v programu ANSYS 14.5. ANSYS je konečněprvkový program, který využívá H-metodu konvergence a je vhodný pro výpočty staticky i dynamicky namáhaných součástí i celých systémů. Velmi dobře spolupracuje s CAD softwary, kde umožní import prakticky jakékoliv 1D, 2D a 3D geometrie. Program je nainstalován a licencován v počítačových učebnách na katedře částí a mechanismů strojů. Na geometrii vedení byla vytvořena mapovaná síť konečných prvků, přičemž byly využity prvky Solid 187 (10 - uzlové prvky). Celkový počet prvků byl 17 587 a uzlů 31 432. Výsledná síť je uvedena na obr. 59. Okrajové podmínky byly zavedeny stejně jako u analytického výpočtu (obr. 60). Byly provedeny 3 zatěžující stavy tj. 1. pouze tahového napětí, 2. pouze ohybového napětí, 3. kombinace tahového a ohybového napětí.

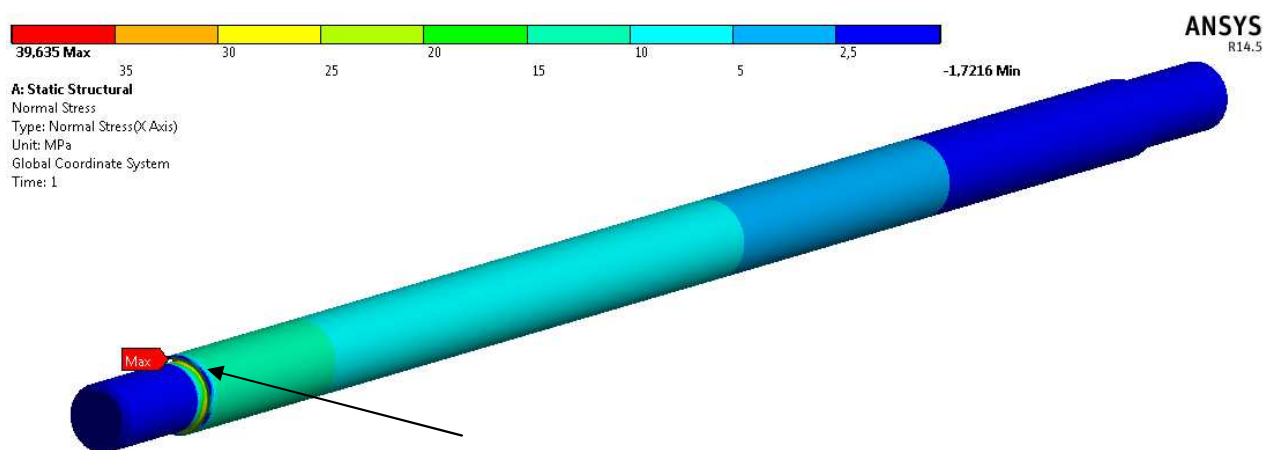


Obr. 59 Síť konečných prvků výpočetního modelu vedení v programu ANSYS

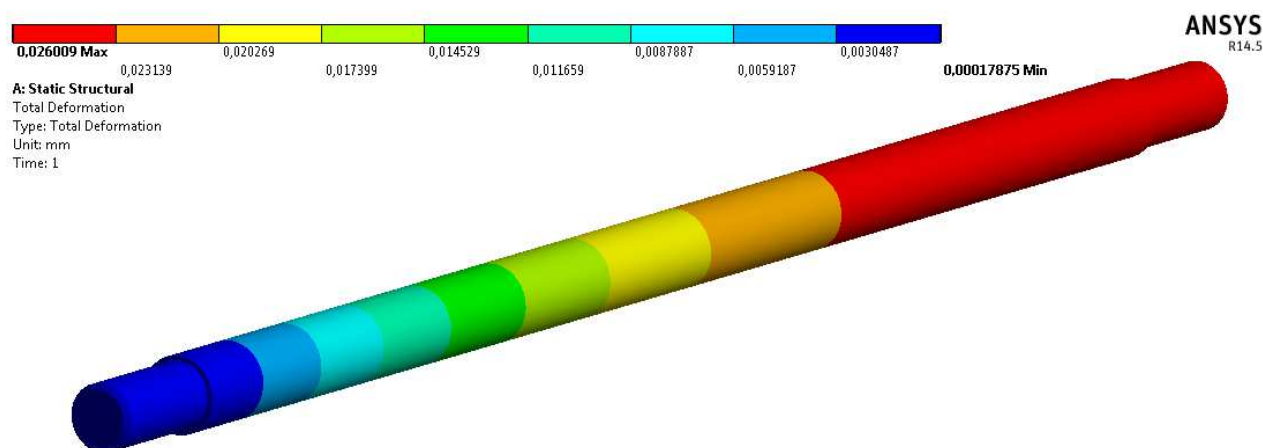


Obr. 60 Okrajové podmínky

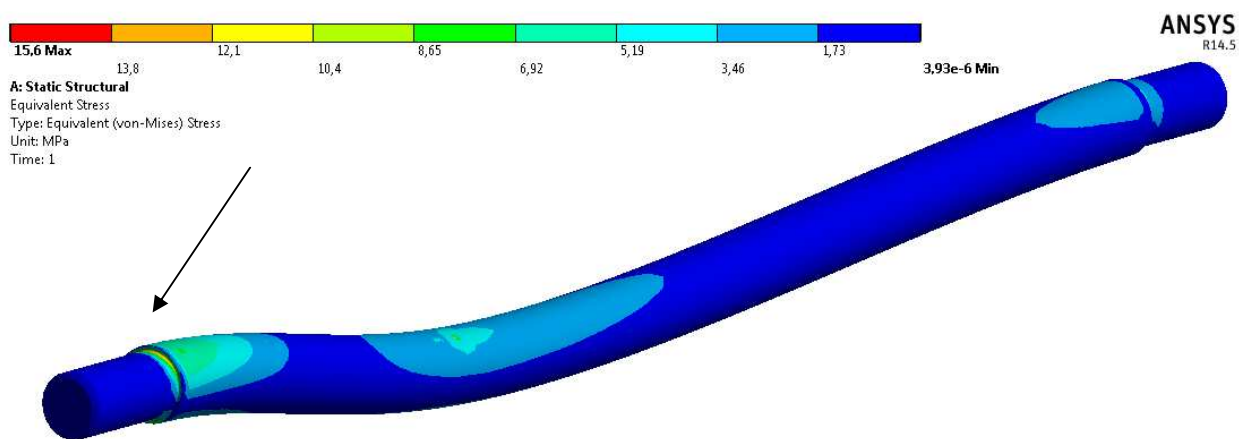
Výsledně se stanovilo napětí a deformace jak je uvedena na následujících obrázcích (obr. 61-65).



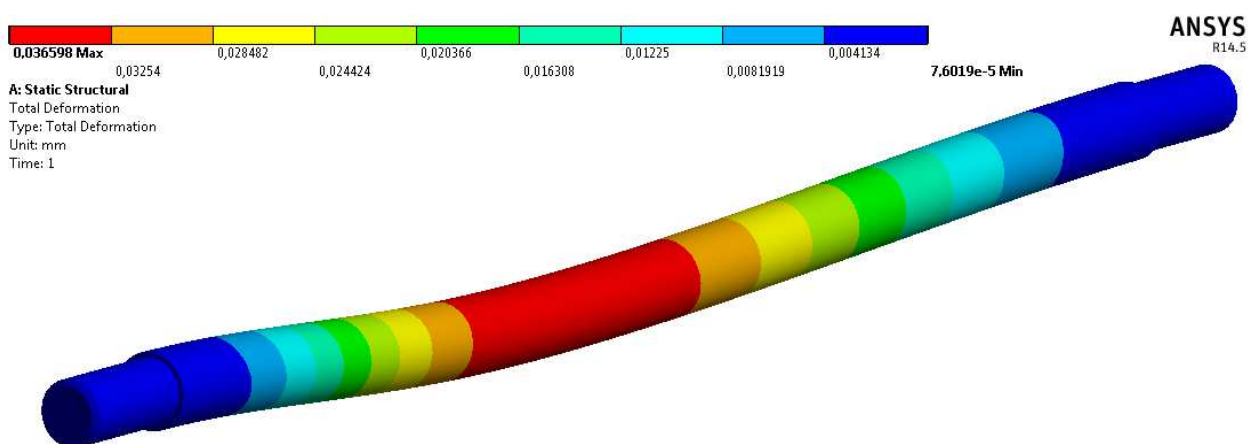
Obr. 61 Výsledky zatížení č.1: tahové napětí



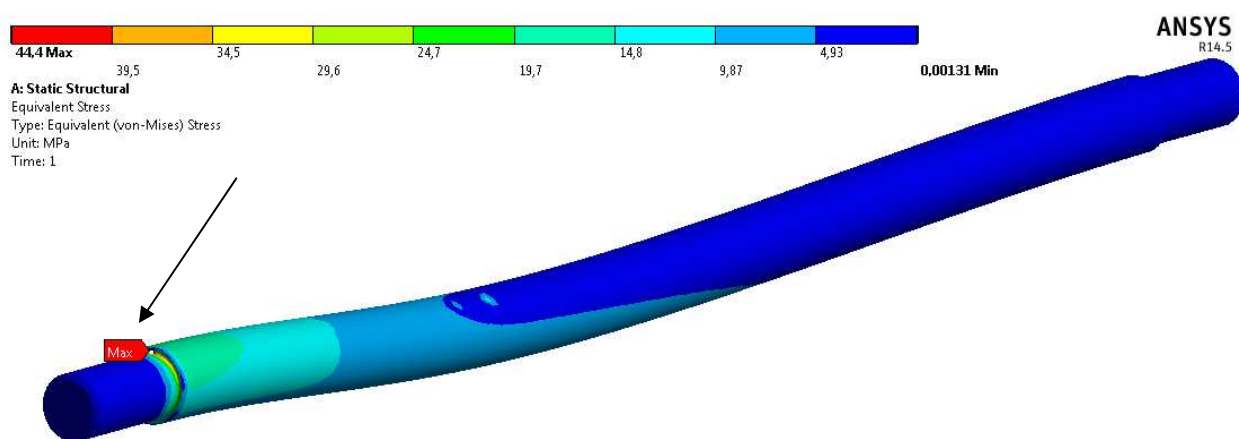
Obr. 62 Výsledky zatížení č. 1: rozložení deformace



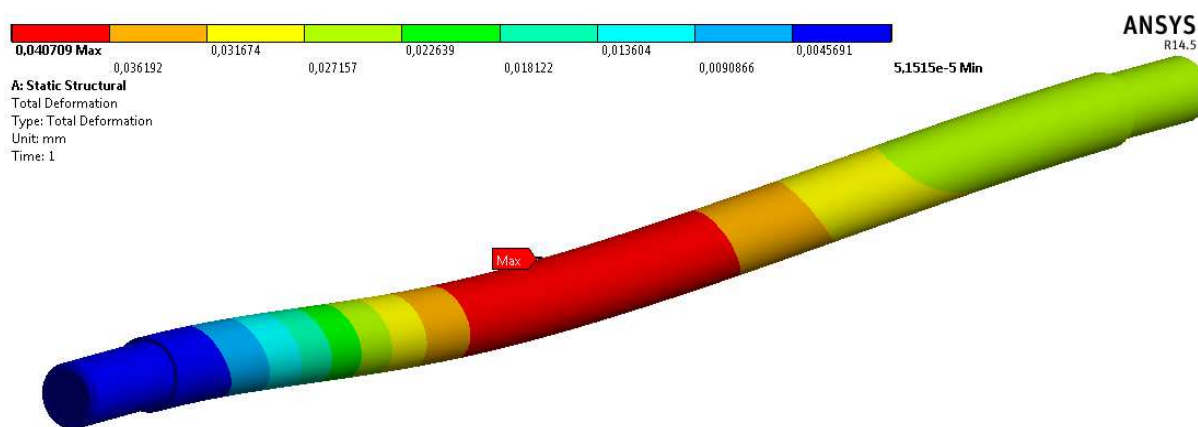
Obr. 63 Výsledky zatížení č. 2: ohybové napětí



Obr. 64 Výsledky zatížení č. 2: rozložení deformace



Obr. 65 Výsledky zatížení č. 3: redukované napětí – kombinace ohybového a tahového napětí



Obr. 66 Výsledky zatížení č. 3: redukované napětí – rozložení deformace

Výsledky analytických i numerických výpočtů jsou v dobré shodě. Možná chyba v jednom druhu výpočtu je tedy eliminována.

Pevnostní kontrola šroubového spoje, který váže vedení s rámem, byla provedena v programu Inventor. Výpočet proběhl úspěšně a pevnostní kontrola vyhovuje dané bezpečnosti. Výpočet je součástí přílohy: **Příloha č.4: Výpočet šroubového spoje.**

9 Zhodnocení vybrané varianty

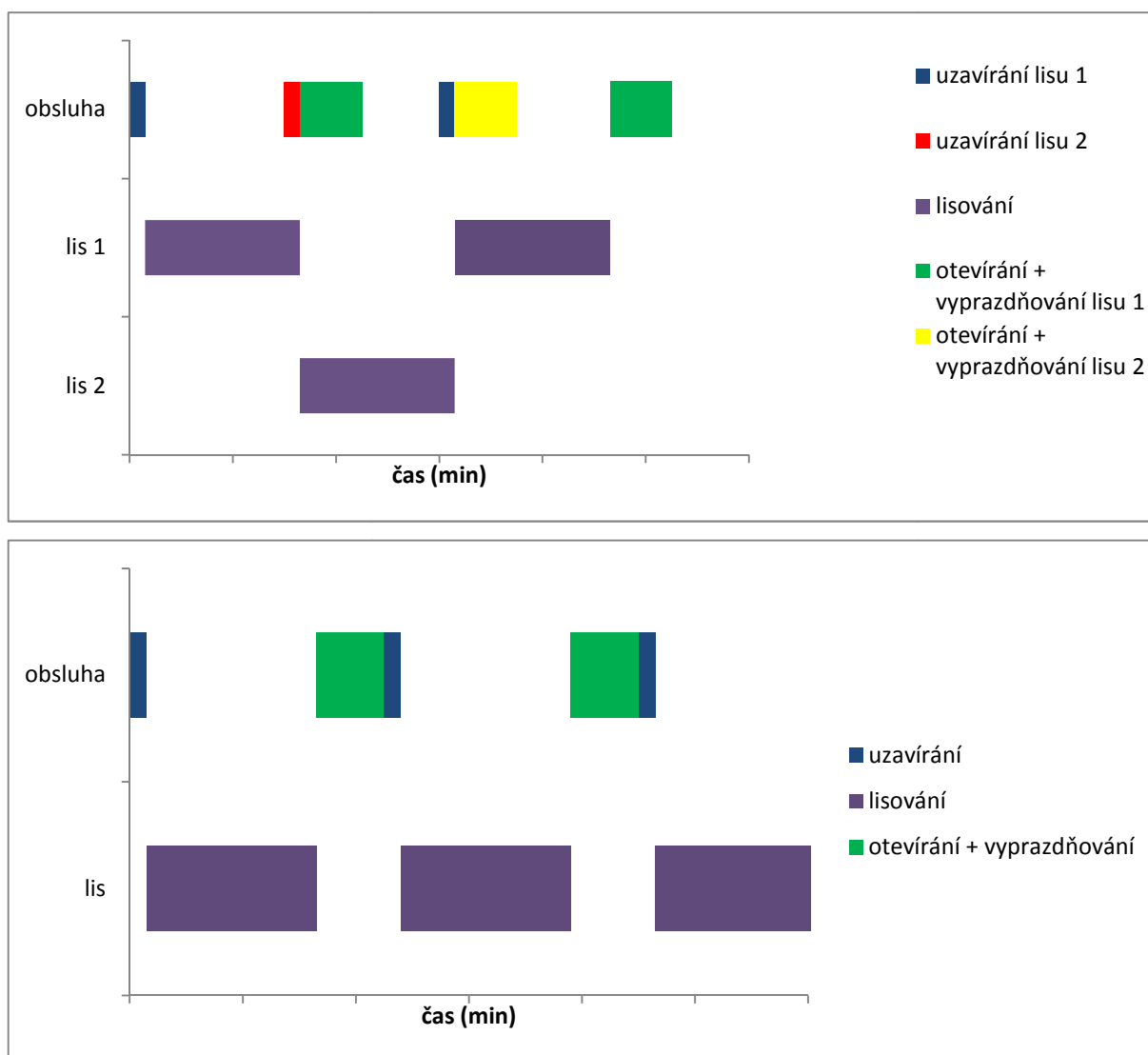
Nejprve byla vypočítána úspora nákladů na likvidaci odpadu tuhé fáze v podobě filtračního koláče oproti likvidaci suspenze, která obsahuje tuhou fázi a vodu. Výpočet byl proveden na horizontu jednoho roku pomocí MS Excel a byl vložen do tab. 17. Odtud je patrné, že náklady na likvidaci nevyfiltrované suspenze za rok jsou o více než 85 000,- vyšší, než náklady na likvidaci vylisovaného filtračního koláče. Tato výrazná úspora je hlavním přínosem navrhnutého zařízení. Z tohoto výpočtu je dále patrné, že vstupní náklady na lisovací zařízení se velmi rychle vrátí v podobě značné úspory finančních prostředků na likvidaci odpadu. Navrhnuté řešení je tedy ekonomicky výhodné a přijatelné i pro menší firmu. Celková úspora za 1 rok = úspora z cen odpadu + úspora z nákladů na odvoz odpadu – náklady na provoz (práce obsluhy, tlakový vzduch).

1 rok	objem (m ³)	hustota (kg · m ⁻³)	hmotnost (kg)	cena odpadu (Kč)	náklady doprava (Kč)	náklady na provoz (Kč)
oplachová voda	48,00					
suspenze	16,00		16864,00	101184,00	5100,00	
filtrační koláč	1,60	1540,00	2464,00	14784,00	1700,00	4311,16
přefiltrovaná voda	14,40	1000,00	14400,00			
			úspora	86400,00	3400,00	-4311,16
					celková úspora Kč/rok	85488,84

Tab. 17 Roční bilance

Cena zařízení byla stanovena součtem cen jednotlivých dílů, vynásobených jejich počtem. Výpočtová tabulka je uvedena v příloze: **Příloha č. 5: Výpočet ceny zařízení**. Cena navrhnutého duálního komorového lisu včetně všech komponent nutných pro provoz zařízení je 96 360,- Kč vč. DPH. Do ceny není zahrnuta cena montáže. Počítá se s možností, že by zařízení mohlo být dodáno koncovému zákazníkovi jako stavebnice, čímž by se zjednodušila přeprava a manipulace se zařízením na zvolené místo. Pokud by bylo zařízení nabídnuto na tuzemském trhu, byla cena stanovena z průzkumu trhu a vztahu ke konkurenci na 135 000,- Kč vč. DPH. Cena nákladů na zhotovení zařízení by se mohla dále postupně snížit v důsledku případných narůstajících prodejů a tedy počtu potřebných dílů. Díky této skutečnosti by dodavatelé byli schopni přistoupit na snížení cen.

Dalším přínosem duálního lisu je velmi výrazné přiblížení kontinuálnímu provozu. Vhodnou synchronizací zařízení trvá změna lisování z jednoho lisu na druhý několik málo sekund (otočení dvou ventilů na přívodu suspenze do lisů). Pokud by navrhnuté zařízení bylo zkonstruováno konvenčním způsobem, tedy s jednou komorou, došlo by k prodloužení každého cyklu o dobu otevření, vyprázdnění a zpětného uzavření v lisu. V práci je počítáno s tímto časem o velikosti 7,5 minuty. Princip provozu jednoduchého a duálního komorového lisu je zobrazen na grafu 2. Z údajů uvedených ve výpočtové části je spočtena úspora času při provozu duálního komorového lisu oproti lisu s jednou komorou a má hodnotu 33% (1 rok, 132 cyklů, čas lisování 15 min., čas práce obsluhy 7,5 min.). Jedná se o teoretickou hodnotu, která je odvislá na době filtrace lisu a době práce obsluhy. Čím si budou tyto dvě doby bližší, tím výhodnější bude nasazení duálního komorového lisu.



Graf 2 Princip provozu duálního lisu (nahore), jednoduchého lisu (dole)

Celé zařízení sestává z nové, vlastní, zjednodušené konstrukce. Princip lisování v komorách byl dále rozvíjen. Došlo ke zjednodušení upnutí plachetek, což má za následek jejich snadnější a rychlejší výměnu. Dále nemůže dojít k jejich „skřípnutí“ vlivem nabobtnání na stykových plochách komorových desek a je umožněna výměna plachetky pouze na jedné straně desky. Odvod filtrátu z desek je zjednodušen tak, že filtrát odchází z celého lisu do jednoho místa, odkud je sveden hadicí. Zařízení má kompaktní rozměry, prostor pod lisy je volný a umožňuje umístění standardizované palety o velikosti 1200 x 800 mm, na kterou je možno umístit nádobu, která je jednoduše manipulovatelná pomocí paletového vozíku. Zařízení je ovládáno ručním hydraulickým okruhem, který klade nižší nároky na obsluhu, než sklíčidlo. Zařízení je konstruováno s ohledem na snadnou údržbu. Důležité díly lze snadno demontovat, vyčistit a v případě potřeby vyměnit. Zařízení neklade zvýšené nároky na obsluhu.

10 Závěr

Cílem inovačního procesu této diplomové práce bylo navrhnout vlastní konstrukci inovovaného zařízení pro separaci tuhé a kapalné fáze z odpadního kalu, jenž je produktem leptárny skla. Celá práce začala seznámením s danou záležitostí v zadavatelské firmě a zjišťováním potřeb a požadavků zákazníka. Následovalo studium problematiky a hledání známých řešení. Bylo vybráno 5 hlavních kategorií lisovacích zařízení, které jsou uvedeny a popsány v rešeršní části. Bylo pamatováno také na řešení dané problematiky v oblasti patentů, které jsou též v práci uvedeny.

Po seznámení se s danou problematikou a prozkoumání současného stavu v oblasti odvodňování odpadních kalů bylo navrženo 6 vlastních, obecných řešení ve formě konceptů. Ty byly popsány a graficky zpracovány v programu Inventor. Následovalo jejich hodnocení dle zvolených kritérií a požadavků zákazníka, čímž byla vybrána vítězná varianta, kterou se stal duální komorový kalolis. Komorový kalolis byl podroben detailní analýze k nalezení slabých míst konstrukce a tedy další možnosti inovace tohoto zařízení. Z navržených variant bylo vybráno nejvýhodnější rozmístění zařízení tak, aby bylo možné dva lisy vhodně synchronizovat. Vítězná varianta byla detailně rozpracována do 3D modelu v programu Inventor. Pro daný lis byli vybráni dodavatelé jednotlivých systémů zařízení s ohledem na zadání. Vítězný koncept byl dále podroben optimalizačním metodám. K vyloučení rizik byla po celou dobu využívána analýza FMEA, která byla zapisována do tabulky, jež je obsahem přílohy (příloha 3). Dalšími použitými metodami pro optimalizaci jsou metody DFX z nichž bylo využito hlavně metod konstruování s ohledem na montáž, výrobu a demontovatelnost výrobku.

Ve výpočtové části jsou počítány parametry zařízení. Je zde uvedena výše úspory 1800,- Kč/týden v případě použití navrženého lisovacího zařízení. Po měsíční produkci suspenze, by k jejímu lisování bylo třeba 11 cyklů zařízení, které by zabraly necelé 3 hodiny. Není opomenut ani výpočet namáhání a kontroly stěžejní části zařízení – vedení. Byly provedeny jak analytické výpočty pomocí rovnovážných podmínek a vyšetření vnitřních statických účinků metodou myšlených řezů, tak numerická simulace metodou konečných prvků v programu ANSYS. Výsledky obou metod jsou v dobré shodě. Nakonec je inovace hodnocena z několika hledisek. Úspora nákladů na odpad je 85 500,- Kč/rok. Cena inovovaného zařízení představuje 96360,- Kč. Zařízení má malou spotřebu energií (pouze stlačený vzduch). Návrh investice je tedy velmi rychlá. Vzhledem k těmto skutečnostem se významně uvažuje o uplatnění inovovaného zařízení v zadavatelské firmě.

Seznam použité literatury

- [1] Mašín, I. – Ševčík, L.: *Metody inovačního inženýrství*.
Liberec: Institut technologií a managementu, 2006, ISBN 80-903533-0-4
- [2] Lepšík, P. – Mašín, I.: *Nástroje řízení projektů*
Liberec: In-TECH2, 2012, ISBN:978-80-7372-854-0
- [3] Wikipedie, [online].
Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalolis> [cit. 2014-02-20]
- [4] Envintes, [online].
Dostupné z: <http://www.envites.cz/> [cit. 2014-02-20]
- [5] Jirout, T.: Hydromechanická zařízení.
Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~jiroutom/vyuka/hmz/hmz_3c.pdf
[cit. 2014-03-5]
- [6] Czech Industrial Fabrics s.r.o., [online].
Dostupné z: <http://czechindustrialfabrics.cz/> [cit. 2014-03-5]
- [7] Pokorná T.: Technologie zpracování kalů, [online].
Dostupné z: <http://www.waste.cz> [cit. 2014-03-5]
- [8] Kaplan spol. s.r.o., [online].
Dostupné z: <http://www.kaplan-eko.cz/> [cit. 2014-03-15]
- [9] Sultrade, [online].
Dostupné z: <http://www.sultrade.cz/> [cit. 2014-03-15]
- [10] Antares – AZV s.r.o., [online].
Dostupné z: <http://www.antaresazv.cz/> [cit. 2014-03-15]
- [11] Huber CS spol. s.r.o., [online].
Dostupné z: <http://www.huber.cs.cz/html> [cit. 2014-03-20]
- [12] Veolia Water, [online].
Dostupné z: <http://www.veoliawaterst.com/> [cit. 2014-03-20]
- [13] Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů,
[online].
Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hqf/546/Materialy/Bara/index.html>
[cit. 2014-03-20]
- [14] Biom.cz, [online].
Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2> [cit. 2014-03-22]
- [15] Google Patent Search, [online].
Dostupné z: <http://www.google.com/?tbs=pts> [cit. 2014-03-22]
- [16] Metalman, [online].
Dostupné z: <http://www.metalman.cz/index.php?id=152> [cit. 2014-03-22]
- [17] Rousselet, [online].
z: <http://www.rousselet.cz/principy/principy1.html> [cit. 2014-03-25]
- [18] Tapflopump, [online].
<http://www.tapflopump.cz/cz/cz/pages/princip-fungovani> [cit. 2014-04-18]
- [19] Skripta k předmětu Základy chemických technologií, [online].
<http://aplchem.upol.cz/predmety/ZCHT/SKRIPTA/2014/Kapitola3.pdf>
[cit. 2014-04-11]
- [20] Ekoplastic, [online].
Dostupné z: <http://www.ekoplastik.cz/> [cit. 2014-04-26]
- [21] Blagdon, [online].
z: <http://blagdonpump.com/> [cit. 2014-04-26]
- [22] Yale, [online].

- Dostupné z: <http://www.yale-czech.cz/> [cit. 2014-04-26]
- [23] DFA: The Lucas method, [online].
Dostupné z: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmlucas.html> [cit. 2014-04-26]
- [24] Jirman, P.: *Výchova studentů k tvůrčímu technickému řešení.(pdf)*
Dostupné z:
<http://www.glass.cz/triz/Clanek%20Sklar%20a%20keramik%202003.pdf>
[cit. 2014-03-25]
- [25] Jirman, P.: *Tvorba a řešení inovačních zadání (pdf)*
Dostupné z: <http://www.glass.cz/triz/triz.pdf> [cit. 2014-03-25]
- [26] Pešík, L.: *Části strojů. 1. díl.*
Liberec: TUL, 2010, ISBN 978-80-7372-573-0
- [27] Pešík, L.: *Části strojů. 2. díl.*
Liberec: TUL, 2010, ISBN 978-80-7372-574-7
- [28] Leinveber, J. – Vávra, P.: *Strojnické tabulky.*
Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6
- [29] PETRŮ, M.; NOVÁK, O.; LEPŠÍK, P.: Increase of the efficiency of the production lines for the spinning of inorganic nanofibers by the electrostatic field intensity optimization. In MM Science Journal. 2012, s. 382–385. ISSN 1805-0476.

Seznam příloh

Příloha č. 1: Ganttův diagram

Příloha č. 2: Elementy potrubí

Příloha č. 3: Metoda FMEA

Příloha č. 4: Výpočet šroubového spoje

Seznam výkresů

KST – DP – 01: DUÁLNÍ KOMOROVÝ KALOLIS – výkres sestavy

KST – DP – 01-01: LIS 1 – výkres podsestavy

KST – DP – 01-01-01: KOMOROVÁ DESKA – výkres podsestavy

KST – DP – 01-01-01-01: RÁM 2 – výrobní výkres dílu

KST – DP – 01-01-02: VEDENÍ - výrobní výkres dílu

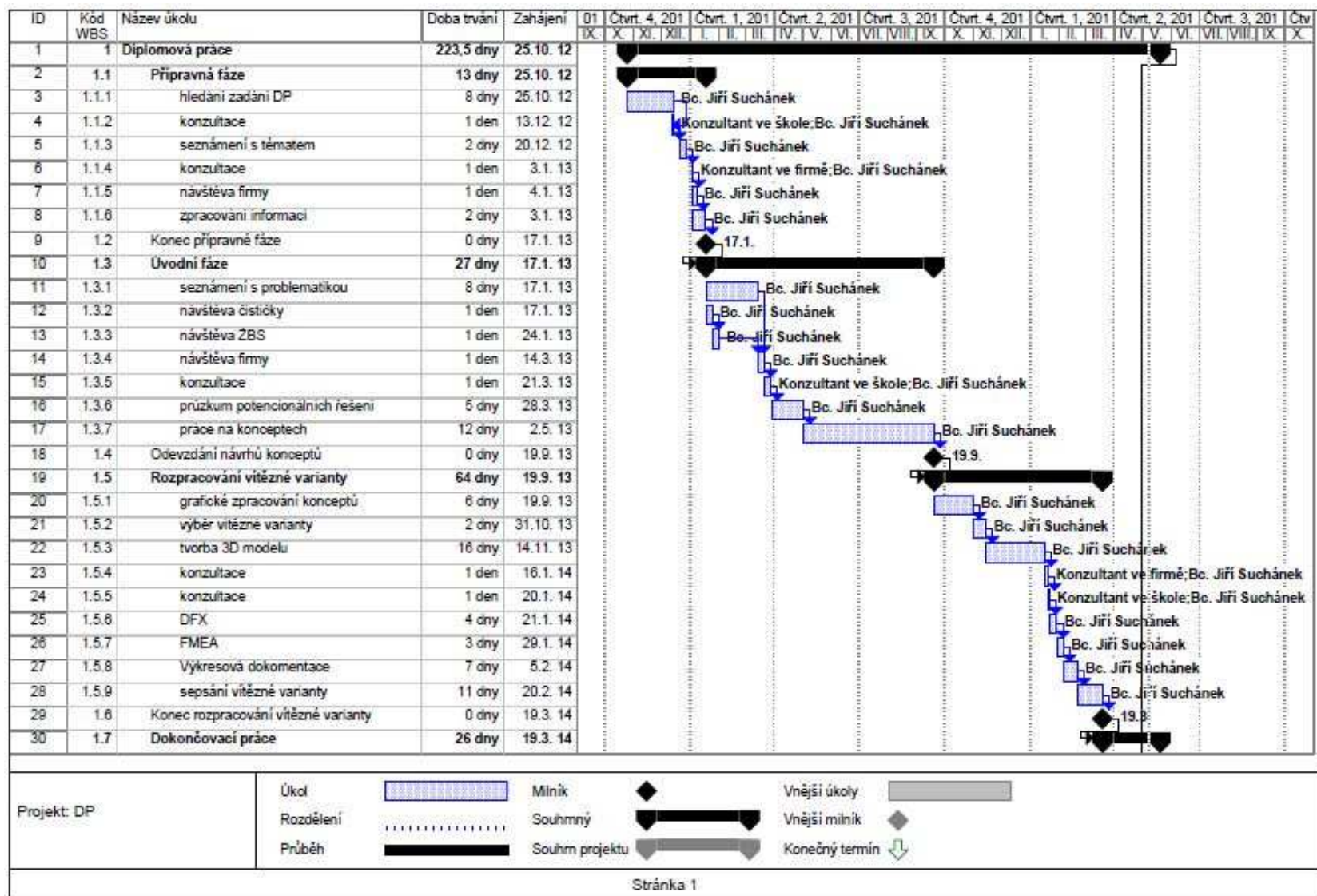
KST – DP – 01-01-03:UZAVÍRACÍ DESKA - výrobní výkres dílu

Příloha CD

- DP_Suchánek_Jiří_2014.pdf

- Výkresová_dokumentace.pdf



Příloha č. 1: Ganttův diagram










ID	Kód WBS	Název úkolu	Doba trvání	Zahájení	01 IX	Čtvrt. 4, 201 X	Čtvrt. 1, 201 X	Čtvrt. 2, 201 X	Čtvrt. 3, 201 X	Čtvrt. 4, 201 X	Čtvrt. 1, 201 X	Čtvrt. 2, 201 X	Čtvrt. 3, 201 X	Čtv
31	1.7.1	konzultace	1 den	19.3. 14										
32	1.7.2	konzultace	1 den	20.3. 14										
33	1.7.3	textová editace DP	25 dny	19.3. 14										
34	1.7.4	tisk a vazba práce	1 den	15.5. 14										
35	1.8	Konec dokončovacích prací	0 dny	20.5. 14										
36	2	Odevzdání DP	0 dny	23.5. 14										


Projekt: DP


Úkol  Milník 

Rozdělení  Souhmný 

Průběh  Souhm projektu 

Vnější úkoly 

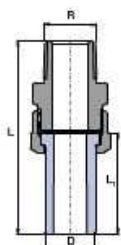
Vnější milník 

Konečný termín 

Stránka 2

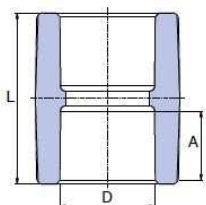


Příloha č. 2: Elementy potrubí



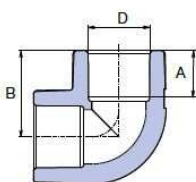
Sroubení vnější

D mm	R	L mm	L ₁ mm	KÓD	I.	II.	kg/ks
20	1/2"	77,0	40,0	SSE02020XX	10	100	0,118
25	3/4"	80,0	40,0	SSE02525XX	10	50	0,196
32	1"	92,0	45,0	SSE03232XX	10	40	0,324



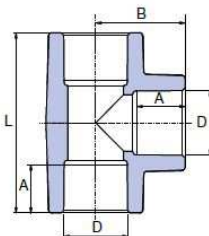
Nátrubek

D mm	A mm	L mm	KÓD	I.	II.	kg/ks
16	13,0	33,0	SNA016XXXX	50		0,006
20	14,5	34,6	SNA020XXXX	50	500	0,010
25	16,0	37,8	SNA025XXXX	50	250	0,018
32	18,0	40,0	SNA032XXXX	25	150	0,034
40	20,5	48,0	SNA040XXXX	20	80	0,056
50	23,5	53,0	SNA050XXXX	10	70	0,082
63	27,5	65,0	SNA063XXXX	5	30	0,118
75	30,0	73,4	SNA075XXXX	1	5	0,314
90	33,0	79,2	SNA090XXXX	1		0,470
110	37,0	88,2	SNA110XXXX	1		0,782
125	40,0	86,0	SNA125XXXX	1		0,745



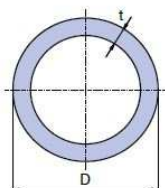
Koleno 90°

D mm	A mm	B mm	KÓD	I.	II.	kg/ks
16	13,0	23,2	SKO01690XX	50	250	0,010
20	14,5	26,8	SKO02090XX	50	400	0,018
25	16,0	31,0	SKO02590XX	50	250	0,030
32	18,0	36,5	SKO03290XX	25	150	0,056
40	20,5	43,0	SKO04090XX	10	70	0,100
50	23,5	51,0	SKO05090XX	10	40	0,158
63	27,5	61,5	SKO06390XX	5	15	0,334
75	30,0	70,1	SKO07590XX	2	6	0,558
90	33,0	82,0	SKO09090XX	1	5	1,010
110	37,0	95,0	SKO11090XX	1		1,344
125	40,0	105,0	SKO12590XX	1		1,640





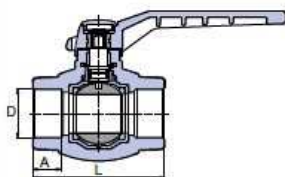
T-kus jednoznačný

D mm	A mm	B mm	L mm	KÓD	I.	II.	kg/ks
16	13,0	23,2	46,4	STK016XXXX	50		0,012
20	14,5	27,0	54,0	STK020XXXX	50	300	0,022
25	16,0	32,0	60,0	STK025XXXX	50	200	0,038
32	18,0	35,7	70,0	STK032XXXX	20	100	0,070
40	20,5	38,5	86,2	STK040XXXX	10	50	0,124
50	23,5	51,0	102,0	STK050XXXX	5	30	0,196
63	27,5	61,5	123,0	STK063XXXX	5	15	0,430
75	30,0	70,1	140,2	STK075XXXX	1	5	0,644
90	33,0	83,1	166,2	STK090XXXX	1		1,134
110	37,0	99,1	198,2	STK110XXXX	1		1,962
125	40,0	105,0	210,0	STK125XXXX	1		2,030



Trubka S 5 / PN 10 / SDR 11

D mm	t mm	l mm	KÓD	 [m]	 kg/m
20	2,2	4000	STR020P10X	100	0,121
25	2,3	4000	STR025P10X	60	0,164
32	2,9	4000	STR032P10X	40	0,258
40	3,7	4000	STR040P10X	24	0,413
50	4,6	4000	STR050P10X	16	0,636
63	5,8	4000	STR063P10X	12	1,004
75	6,8	4000	STR075P10X	8	1,401
90	8,2	4000	STR090P10X	4	2,014
110	10,0	4000	STR110P10X	4	3,009
125	11,4	4000	STR125P10X	4	3,910



Kohout kulový plastový

D mm	A mm	L mm	KÓD	 I. II.	 kg/ks
16	13,0	59,5	SVEK016XXX	10 50	0,092
20	14,5	65,0	SVEK020XXX	10 50	0,116
25	16,0	71,0	SVEK025XXX	10 40	0,168
32	18,0	85,0	SVEK032XXX	10 20	0,294
40	20,5	100,0	SVEK040XXX	5 10	0,544
50	23,5	115,0	SVEK050XXX	1 5	0,874
63	27,5	134,0	SVEK063XXX	1 5	1,278

Příloha č. 3: Metoda FMEA

FMEA PRACOVNÍ FORMULÁŘ Failure Mode & Effects Analysis															
Předmět FMEA: Lisovací zařízení									Zákazník: Sklo Pelechov						
Vedoucí týmu: Bc. Jiří Suchánek									FMEA číslo: 001						
Členové týmu: Bc. Jiří Suchánek									Datum analýzy: 16.3.2014						
									Datum revize: 5.5.2014						
Prvek	Možná chyba	Možný důsledek	Příčina	Prev. opatření	Vznik	Význam	Odhalení	RPZ	Doporučená opatření	Odpovědnost & termín	Provedená opatření	Vznik	Význam	Odhalení	RPZ
Odvodňovací deska	Špatně orientovaná	Filtrát z desky neodchází	Nepozornost při montáži	Žádné opatření	5	8	8	320	Poka-yoke	J.Suchánek	Úprava tvaru	1	8	1	8
	Chybí	Nefunkční filtrační deska	Nepozornost při montáži	Žádné opatření	2	9	1	18							
Filtrační plachetka	Nesprávně vložená	Netěsnost filtrační komory	Nepozornost při montáži	Kontrola montáže	4	7	3	84							
	Chybí	Nefunkční filtrační deska	Nepozornost při montáži	Kontrola montáže	2	9	1	18							
	Poškození	Zhoršená filtrační schopnost	Poškození při výrobě	Kontrola u dodavatele	2	8	2	32							
Komorová deska	Netěsní	Velké množství úkapů	Špatně navržená konstrukce	Žádné opatření	3	7	7	147	Zkoušky zařízení	J.Suchánek					
	Ztráta funkce	Chybí spojovací prvek	Nepozornost při montáži	Kontrola montáže	2	9	2	36							
Uzavírací deska	Velká manipulační síla	Únava obsluhy	Tření mezi uzavírací deskou a vedením	Žádné opatření	9	8	2	144	Nahrazení třecí vazby, vazbou rotační	J.Suchánek	Přidána kolečka	4	8	2	64
	Chybí kolečko	Nemožné montáž	Nepozornost při montáži	Žádné opatření	2	9	1	18							



	Chybí pojistný kroužek zajišťující kolečko	Vypadnutí kolečka	Nepozornost při montáži	Kontrola montáže	2	7	2	28							
	Chybí šroub uchycení hydr. Válce	Namáhání válce	Nepozornost při montáži	Kontrola montáže	2	5	2	20							
Vedení	Koroze	Nižší pevnost, vyšší tření	Špatně zvolený materiál	Ocel tř. 17	3	6	2	36							
	Nadměrné ohnutí	Netěsnost zařízení	Špatně navržený díl	FEM analýza	2	7	2	28							
	Lom	Překročení meze pevnosti materiálu	Špatně navržený díl	výpočet + FEM analýza	1	8	1	8							
	Nezajištění přenosu vnějšího zatížení	Matice nedotaženy	Nedostatečný utahovací moment	Žádné opatření	4	7	5	140	Kontrola utahovacího momentu	J.Suchánek	Správné dotažení	2	7	3	42
Rám	Koroze	Nevzhlednost, nižší pevnost	Materiál málo odolávající korozi	Korozivzdorný nátěr	4	4	3	48							
	Deformace	Ztráta funkce	Špatně navržená konstrukce	Dostatečné předimenzování a vyztužení	2	8	2	32							
	Posunutí	Poškození potrubí	Neukotvení	Kotvicí body, Kontrola montáže	2	6	5	60							
	Velká vůle mezi vedením a rámem	Nesprávná poloha vedení	Nepřesné obrábění	Žádné opatření	6	8	4	192	Kontrola obrábění	J.Suchánek	Přesné obrábění	2	8	4	64
Hydraulická hadice	netěsnost spoje	Ztráta 100% ovládání válců	Nedostatečné dotažení	Kontrola dotažení	2	7	2	28							
Hydraulická pumpa	Chybí šroub uchycení	Pohyby pumpy při práci	Nepozornost při montáži	Kontrola montáže	2	6	2	24							



	Šroub uchycení nedostatečně utažen	Malé pohyby pumpy při práci	Nedostatečné dotažení	Kontrola dotažení	2	4	2	16							
Čerpadlo	Chybí šroub uchycení	Pohyby pumpy při práci	Nepozornost při montáži	Kontrola montáže	2	6	2	24							
	Šroub uchycení nedostatečně utažen	Malé pohyby pumpy při práci	Nedostatečné dotažení	Kontrola dotažení	2	4	2	16							
Elementy potrubí	Netěsnost šroubových spojů	Úkapy	Nesprávné dotažení	Kontrola dotažení	2	6	2	24							
	Poškození potrubí vlivem manipulace s kohouty	Neplní funkci	Malá pevnost	Žádné opatření	5	9	3	135	Zvýšení pevnosti potrubí	J.Suchánek	Přidání kovových objímek	2	8	3	48
	Chybějící element	Neplní funkci, nemožné napojení	Nepozornost při montáži	Kontrola montáže	4	8	2	64							
	Netěsnost svařovaných spojů	Úkapy	Chybné svařování	Kontrola svařování	2	6	2	24							

Příloha č. 4: Výpočet šroubového spoje

Generátor komponenty – šroubové spoje (Verze: 2013 (Build 170138000, 138))

7.5.2014

☒ Informace o projektu

☒ Statický výpočet

☒ Scénář

Typ výpočtu pevnosti - Kontrolní výpočet

☒ Zatížení

Součinitel těsnosti	k	1,50 ul
Maximální axiální síla	F_a	50000 N
Součinitel zavedení síly	n	0,50 ul
Maximální obvodová síla	F_t	344 N
Souč. tření ve spoji	f	0,40 ul

☒ Šroub

Počet šroubů	z	1 ul
Průměr závitu	d	35,000 mm
Rozteč závitu	p	1,500 mm
Střední průměr šroubu	d_s	34,026 mm
Minimální průměr šroubu	d_{min}	33,160 mm
Materiál		Vlastní materiál
Mez kluzu v tahu	S_y	490 MPa
Požadovaný součinitel bezpečnosti	k_s	2,50 ul
Dovolený tlak v závitu	p_a	110 MPa
Modul pružnosti v tahu	E	206700 MPa
Souč. tření v závitu	f_1	0,20 ul
Souč. tření v dosedací ploše	f_2	0,25 ul

☒ Materiál

Funkční šířka spoje	L	30,000 mm
Modul pružnosti v tahu	E	206700 MPa

☐ Výsledky

Předeplínací síla	F_v	70034,949 N
Pracovní síla	F_{\max}	76291,500 N
Požadovaný utahovací moment	M_u	726,830 N m
Tahové napětí	σ_t	81,097 MPa
Napětí v krutu	T_k	101,525 MPa
Redukované napětí	σ_{red}	193,645 MPa
Napětí od maximální síly	σ_{\max}	88,342 MPa
Tlak v závitu	p_c	46,869 MPa
Pevnostní kontrola		Kladný

☐ Souhrn hlášení

10:35:55 Výpočet: Výpočet skončil úspěšně!



Příloha č. 5: Výpočet ceny zařízení

Název	Počet (ks)	Cena (Kč)
Čep 12x65 ISO 2341	4	48
Čerpadlo	1	24447
Filtrační plachetka	20	100
Hadice	2	224
Hadicová spona	2	5
Hadicový násadec	1	74
Hadicový násadec 90°	1	89
Hlavová deska	2	250
Hydraulická hadice	2	1000
Hydraulická pumpa	1	11700
Hydraulický válec	2	9400
Kohout kulový	2	386
Kolečko	4	29,9
Koleno 90°	6	14
Koncová deska	2	250
Konzola čerpadlo	1	990
Matice ISO 4034 M33	4	29,86
Nátrubek	2	11
Objímka kovová	2	18
Odvodňovací deska	10	250
Podložka ISO 7089 33	4	19,5
Podložka ISO 7089 6	4	0,5
Podložka ISO 7089 8	4	0,6
Pojistný kroužek DIN 6799 9	24	0,71
Potrubí	2	216
Rám filtrační desky	20	200
Svařovaný rám koncový	2	4450
Svařovaný rám přední	2	3150
Šroub ISO 4762 M6x30	8	3,63
Šroub ISO 4018 M6x16	4	1
Šroub ISO 4018 M8x16	4	1,2
Šroub ISO 4762 M6x20	4	3,3
Šroub ISO 4762 M6x40	4	4,4
Šroubení vnější	3	332
T-kus	1	22
Uzavírací deska	2	1990
Vedení	4	1540
Celkem:		96361,12